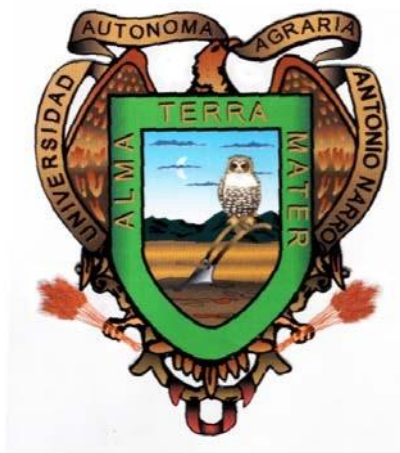


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y METALES PESADOS EN
SEDIMENTOS DEL RÍO NAZAS**

POR

LINDA AZALIA GARCÍA PERALES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DEL 2007.

00846

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y METALES PESADOS EN SEDIMENTOS
DEL RÍO NAZAS

TESIS:

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORIA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

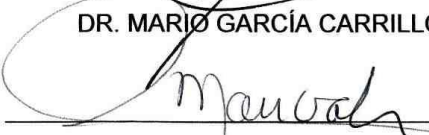
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR EL COMITÉ ASESOR:

Asesor Principal:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO


Asesor:


DR. CELSO MANUEL VALENCIA CASTRO

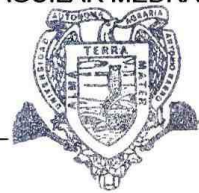
Asesor:


DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

Asesor:


ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO


ME. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DEL 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y METALES PESADOS EN SEDIMENTOS
DEL RÍO NAZAS**

TESIS:

**QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORIA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR EL COMITÉ ASESOR:

Asesor Principal:



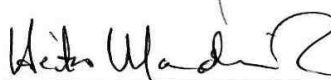
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

Asesor:



DR. CELSO MANUEL VALENCIA CASTRO

Asesor:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

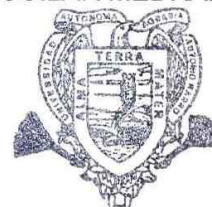
Asesor:



ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO



**ME. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS**



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DEL 2007

DEDICATORIAS

A Dios

Por prestarme la vida y darme la oportunidad de realizarme como persona en todos los sentidos.

A mi Mamá

Ofelia Perales Ruíz por cargarme no solo en su vientre 9 meses si no a lo largo de mi carrera para llegar a la meta "TE QUIERO MUCHO Y TE AMO MAMÍ".

A mi Papá

José Luis García Díaz por ser mi guía, motivación, apoyo, pero sobre todo un gran ejemplo de perseverancia. "EN MI MENTE SIEMPRE ESTAS Y EN MI CORAZÓN OCUPAS EL LUGAR MÁS IMPORTANTE PAPITO".

A mis Hermanos

Marco Antonio, Norma Elizabeth, Luis Margarito, Perla, por servirme como ejemplo.

De forma especial a tí **Salvador** que siempre me diste tu apoyo incondicional, por tu compañía, por compartirme de tu sabiduría, por animarme cuando quería desistir, eres el mejo. ¡TE QUIERO MUCHO!

A mi novio

José Roberto Ramírez Rocha, compañía, amistad, amor, comprensión, dedicación, apoyo es lo que siempre me brindaste TE AMO mi cielo.

AGRADECIMIENTOS

Dios, gracias por darme la vida y rodearme de personas que contribuyeron en todas las etapas de mi formación para realizarme como persona en todos los aspectos y llegar a ser realidad mi sueño de "Graduarme de la Universidad como Ingeniero en Procesos Ambientales".

UAAAN "ALMA MATER" gracias por darme la oportunidad de formar parte de tu gran familia, por tu enseñanza académica y los valores morales.

Dr. Mario García Carrillo, gracias por creer en mi y apoyarme en mi trabajo de tesis, por la dedicación, el tiempo, la paciencia y su enseñanza.

Dr. Celso Valencia Castro, gracias por su tiempo, apoyo, paciencia y dedicación.

Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, gracias por su apoyo en la revisión de este trabajo y la enseñanza a lo largo de la carrera.

Ing. Elba Margarita Aguilar Medrano, gracias por su dedicación y paciencia en este trabajo y en mi estancia en la universidad.

Dr. José Luis Reyes Carrillo, gracias por su orientación y enseñanza, sobre todo por la paciencia y dedicación en mi trabajo.

A todos los maestros que me compartieron de su conocimiento, me enseñaron a obtenerlo y valorarlo así como de sus experiencias de vida y sobre todo gracias por su paciencia, pues con todo ello me ayudaron a formarme para concluir mi carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE GRÁFICAS	V
RESUMEN	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo general	4
1.1.2 Objetivos específicos	4
1.2 Hipótesis	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Metales pesados	6
2.2 Importancia de los metales pesados	7
2.2.1 Importancia ambiental y económica	7
2.2.2 Importancia a la salud	8
2.2.3 Arsénico	9
2.2.3.1 Propiedades	10
2.2.3.2 Usos	10
2.2.3.3 Efectos en la salud	11
2.2.3.4 Fuentes	11
2.2.4 Cadmio	12
2.2.4.1 Propiedades	12
2.2.4.2 Usos	12
2.2.4.3 Efectos en la salud	13
2.2.4.4 Fuentes	14
2.2.5 Cobre	14
2.2.5.1 Propiedades	15
2.2.5.2 Usos	15

2.2.5.3 Efectos en la salud	16
2.2.5.4 Fuentes	17
2.2.6 Plomo	18
2.2.6.1 Propiedades	18
2.2.6.2 Usos	19
2.2.6.3 Efectos en la salud	19
2.2.6.4 Fuentes	21
2.2.7 Zinc	21
2.2.7.1 Propiedades	22
2.2.7.2 Usos	22
2.2.7.3 Efectos en la salud	23
2.2.7.4 Fuentes	24
2.3 Contaminación del suelo, agua y sedimento con metales pesados	24
2.3.1 Suelo	24
2.3.2 Agua	27
2.3.3 Sedimentos	30
2.4 Ley, Reglamento y Normas Oficiales Mexicanas en materia de suelo, agua y Sedimentos	36
2.4.1 Suelo	37
2.4.1.1 Reglamento Interior de la Secretaría del medio Ambiente y Recursos Naturales	41
2.4.1.2 Normas Oficiales Mexicanas en materia de suelo	41
2.4.2 Agua	42
2.4.2.1 Ley de aguas nacionales	42
2.4.2 Ley general del equilibrio ecológico y la protección al Ambiente	45
2.4.2.3 Normas Oficiales Mexicanas en materia de agua	45
2.4.2 Sedimento	47
III. MATERIALES Y METODOS	48
3.1 Localización geográfica de los puntos de muestreo	48

3.2 Determinación de los sitios de muestreo	49
3.3 Toma de muestras	50
3.4 Preparación de la muestra	50
3.5 Análisis químico del sedimento	50
3.6 Análisis de metales pesados y arsénico	51
3.7 Análisis estadístico	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1 Plomo	53
4.2 Cobre	55
4.3 Zinc	57
4.4 Cadmio	59
4.5 Arsénico	59
4.6 Análisis de varianza	62
4.7 Correlaciones entre los parámetros físicos y químicos del sedimento y los metales pesados	64
V. CONCLUSIONES	67
VI. RECOMENDACIONES	68
VII. LITERATURA CITADA	69

ÍNDICE DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Localización geográfica de los puntos de muestreo	49
Cuadro 2. Promedios generales de los análisis químicos del sedimento realizados en las dos etapas de estudio	61
Cuadro 3. Análisis de varianza de para plomo, cobre, zinc, cadmio, nitratos y materia orgánica para cada uno de los puntos en sus dos etapas	63
Cuadro 4. Principales correlaciones de las características químicas con los metales pesados detectados en el sedimento en cada uno de los puntos de muestreo	65
Cuadro 5. Análisis físico – químicos de los sedimentos en cada punto de muestreo en sus dos etapas.	66

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Páginas	
Gráfica 1	Ubicación geográfica del área de estudio	49
Gráfica 2	Concentración de plomo en sedimentos de los siete sitios de estudio en sus dos etapas, promedio y comparación con normas internacionales (EPA y Holanda)	54
Gráfica 3	Concentración de cobre en sedimento de los siete sitios de estudio en sus dos etapas, promedio y comparación con normas internacionales (EPA y Holanda)	56
Gráfica 4	Concentración de zinc en sedimento de los siete sitios de estudio en sus dos etapas, promedio y comparación con normas internacionales (EPA y Holanda)	58
Gráfica 5	Concentración de cadmio en sedimento de los siete sitios de estudio en sus dos etapas, promedio y comparación con normas internacionales (EPA y Holanda)	60

RESUMEN

Los sedimentos forman parte importante de todo cuerpo de agua, en ellos se acumulan contaminantes tales como los metales pesados, los cuales provienen principalmente de fuentes antropogénicas como son los desechos provenientes de la agricultura, la minería y la industria quienes son en parte responsables de los cambios que han sufrido las características de suelo y agua, fuentes de formación de los sedimentos. El presente estudio se realizó con el objetivo de determinar la concentración de metales pesados (Pb, Cu, Zn, Cd) y de arsénico (As) en los sedimentos presentes en el Río Nazas y realizar una comparación de las concentraciones con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad internacional ya que en México no existe normatividad referente a sedimentos. Se realizaron dos muestreos, el primero en abril del 2006 y el segundo en agosto del mismo año. En ambas etapas se colectaron muestras de sedimento de siete puntos. 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 el metal encontrado en mayor concentración es el zinc, la más alta se presentó en el sitio de León Guzmán en la segunda etapa con un valor de 79.2 ppm. Los valores encontrados de metales pesados fueron inferiores a 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 río.

INTRODUCCIÓN

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

Los sistemas acuáticos como parte del medio ambiente han sido dañados a través del tiempo por la influencia de actividades humanas principalmente la industria y la agricultura. La biota marina y los sedimentos son afectados por la presencia de materiales ajenos al ambiente acuático.

Los sedimentos depositados e inmovilizados a causa de la erosión en un cuerpo de agua son excelentes trampas para la captación de contaminantes provenientes de fuentes naturales y antrópicas lo que trae consigo un problema secundario de contaminación al lugar.

El arsénico y los metales pesados forman parte de contaminantes captados por los sedimentos, para que los metales sean absorbidos deben existir factores como la temperatura, salinidad, tamaño del sedimento, concentración de materia orgánica, contenido de carbonatos, profundidad y la disposición en que se encuentren los metales ya sea en su forma iónica o elemental; una vez que los elementos son capturados pueden ser liberados nuevamente a causa de la descomposición bacteriana de la materia orgánica y los factores de captación, lo que provoca que estén disponibles para la biota donde una vez que son absorbidos se acumulan y contribuyen a la contaminación a través de la cadena trófica y al usar el agua como sistema de riego para cultivos tomando en cuenta que existen metales pesados disponibles de igual manera se causa biomagnificación (Buykx *et al.*, 2002 y García-Rico *et al.*, 2004).

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

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

El Río Nazas se encuentra en una cuenca endorreica, se forma a partir de la confluencia del Río Sixtín y el Río Ramos, se inicia en el Estado de Durango hasta su desembocadura en la Laguna de Mayrán en el Estado de Coahuila, recorriendo una distancia total de 360 kms con una superficie de 100,000 km². Sus principales afluentes son: Río San Juan, Río del Peñón, Arroyo de Naitcha, Arroyo de, y a lo largo de su cauce se encuentran las presas “Lázaro Cárdenas” y “Francisco Zarco” (SAGARPA, 2001), y actualmente el río Nazas termina su cauce en la represa San Fernando. En la cuenca alta del Río se muestra un gradiente o pendiente excesivo que es poco sinuoso, y por lo mismo altamente erosivo y en esta porción se producen los sedimentos que se depositarán en la parte baja de la cuenca. (Valencia-Castro, 2005).

El Río Nazas es muy importante, desde diferentes perspectivas, tanto industriales, ganaderas y agropecuarias como se ha dicho anteriormente, por lo que surge la preocupación por su sustentabilidad.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar la presencia y concentración de arsénico y metales pesados en sedimentos del Río Nazas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la presencia de As, Zn, Cd, Cu y Pb en sedimentos de 7 sitios localizados en el cauce del Río Nazas.

- Comparar la concentración de los metales pesados detectados con los límites máximos permisibles establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas e internacionales.

- Correlacionar la concentración de metales pesados con las características físicas y químicas del sedimento.

1.2 Hipótesis

- ✚ El sedimento presente en el cauce del Río Nazas contiene arsénico y metales pesados.
- ✚ Las concentraciones de arsénico y metales pesados presentes en los sedimentos rebasa el límite máximo permisible según la norma establecida.
- ✚ Existe relación entre la concentración de metales pesados con las características físicas y químicas del sedimento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 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/cm³. 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; GonzálezLozano *et al.*, 2006).

Los metales pueden ser oxidados, reducidos o complejados, dependiendo del dinamismo del entorno químico en el que se localicen (GarcíaCéspedes *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).

2.2 Importancia de los metales pesados

2.2.1 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).

2.2.2 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).

2.2.3 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 microorganismos, 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).

2.2.3.1 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 pirita arsenical (FeAsS), rejalgar (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 tetratómicas (As_4) que se disocian en moléculas diatómicas (As_2) a temperaturas superiores a los 800 °C (WIKIPEDIA, 2007a).

2.2.3.2 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 CabreraMorales, 1999).

2.2.3.3 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).

2.2.3.4 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).

2.2.4 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).

2.2.4.1 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).

2.2.4.2 Usos

- Aproximadamente tres cuartas partes del cadmio producido se emplea en la fabricación de baterías. Especialmente en las baterías de níquelcadmio.
- 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).

2.2.4.3 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).

2.2.4.4 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).

2.2.5 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).

2.2.5.1 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).

2.2.5.2 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).

2.2.5.3 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 anormalidades 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).

2.2.5.4 Fuentes

El Cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de aceite. El Cobre es una substancia muy común que ocurre naturalmente y se extiende a través del ambiente a través de fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el Cobre. Por ejemplo este es aplicado en industrias y en agricultura. La producción de Cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades de Cobre en el ambiente se ha expandido. el Cobre es liberado en sus aguas a través de la corrosión de las tuberías (Nars *et al.*, 2006; Ozuna, 2007).

2.2.6 Plomo

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

2.2.6.1 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 azuloso, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fundición se produce a 327,4°C y hierve a 1725°C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Los cuatro isótopos naturales son, por orden

decreciente de abundancia, 208, 206, 207 y 204. Se cristaliza en el sistema cúbico en forma de cara centrada invertida (WIKIPEDIA, 2007c).

2.2.6.2 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, sobretudo en pinturas y pigmentos (Valdez-Perezgasga y CabreraMorelos, 1999). El plomo es uno de los contaminantes industriales más importante por su uso amplio (Villalobos-Jauregui *et al.*, 2006).

2.2.6.3 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 ($\mu\text{g}/\text{dL}$) causa daños irreversibles en el sistema neurológico de los infantes. El plomo en la sangre de los niños puede provocar que un genio en potencia solo llegue a un nivel de aprovechamiento promedio o que un niño que hubiera tenido habilidades promedio quede discapacitado de por vida. Hay estudios que han relacionado una baja de 5.8 puntos en las pruebas de cociente intelectual (donde 100 sería la habilidad de la mayoría de los niños), por cada diez microgramos por decilitro en la sangre de un niño. Las autoridades médicas reconocen que no se ha identificado un umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo. La Academia Americana de Pediatría recomienda como nivel deseable de plomo en la sangre de los niños la cantidad de cero. Es importante recalcar que tampoco existe un nivel de plomo en sangre que pueda ser considerado normal. El plomo causa anemia en los niños y en los adultos al impedir la formación de moléculas que transportan el oxígeno. En los adultos, la exposición a niveles sumamente bajos de plomo causa incrementos pequeños pero significativos en la presión arterial y no existe evidencia de que haya un umbral para este efecto. También en los adultos, el plomo causa enfermedades renales y afecta la fertilidad. La alta presión arterial (hipertensión) causada por la exposición al plomo, contribuye a que mueran miles de personas cada año, especialmente personas entre las edades de 35 y 50 años. Se cree que el uso generalizado que le daban en la antigua Roma (en recipientes, tubería, etc.) tuvo que ver con la decadencia de su civilización. Los romanos usaban incluso

el acetato de plomo, por su dulzura, como edulcorante del vino, agudizando la intoxicación quien lo bebía (Valdez-Perezgasga y Cabrera-Morelos, 1999 ; Paniagua-Contreras *et al.*, 2003).

2.2.6.4 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 descascaramiento o la remoción intencionada de pinturas basadas en plomo y las emisiones de vehículos propulsados por gasolina con plomo. Las fuentes de contaminación por plomo son múltiples e incluyen a las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas, la loza de barro vidriado cocida a baja temperatura y las gasolinas con tetraetilo de plomo que se dejaron de usar en México en 1997 (Meneses-González *et al.*, 2001; Villalobos-Jauregui *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2007).

2.2.7 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).

2.2.7.1 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).

2.2.7.2 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 (SánchezAlbavera y Lardé, 2006).

2.2.7.3 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).

2.2.7.4 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).

2.3 Contaminación de suelo, agua y sedimento con metales pesados

2.3.1 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, galvanoplastia y otras (Carrasco, 2005). Entre las actividades industriales más contaminantes se encuentran: Producción de electricidad con carbones o derivados del petróleo, Hornos y calderas industriales (Alonso-Martínez y García-Martiricorena, 2001).

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

La agricultura intensiva es una de las actividades humanas que tienen mayor repercusión en la contaminación del suelo por metales pesados, debido al empleo de fertilizantes y plaguicidas de forma prolongada. Los fertilizantes fosforados pueden contener Zn, As, Cd y Pb debido a su presencia en la roca fosfórica. El uso de ciertos plaguicidas han contribuido a aumentar los niveles de As, Pb, Hg, Cu, algunos poseen concentraciones de Zn que pueden superar el 25%. También pueden estar presentes en estiércoles de animales debido al uso de ciertos compuestos a base de dichos elementos en la dieta del animal para evitar ciertas enfermedades. De especial relevancia es el Cu en el purín de cerdo que limita su utilización. También se encuentran presentes en productos desinfectantes utilizados en las instalaciones, y pueden proceder de la maquinaria agrícola utilizada. Todo ello llevó a fijar las concentraciones máximas de metales pesados en fertilizantes y productos afines como compost (Capone *et al.*, 1983 y Bernal-Calderón, 2003).

Las características del suelo juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el mismo, la distribución de los metales pesados en los perfiles del suelo, así como su disponibilidad está controlada por parámetros como propiedades intrínsecas del metal y características de los suelos. Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos. Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda. Excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos. Los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas, la erosión y la deflación (Schmidt, 2003).

Puga *et al.* (2006), realizaron un estudio en San Francisco del Oro, Chihuahua, México lugar en el que se localiza el área de influencia de la presa de Jales la cual es un área de confinamiento de los desechos de la industria minera que tiene como referencia la extracción minera que data del año 1600, provocando disturbios al medioambiente y generando suelos con limitaciones físicas, químicas y biológicas para el establecimiento de vegetación y riesgo a la salud. Se evaluó la contaminación del suelo por plomo, cadmio, zinc y arsénico a diferentes distancias y niveles de profundidad y se determinó la relación con sus características físico-químicas. Los resultados muestran que la mayor concentración se da en sitios cercanos a los jales, disminuyendo la concentración a medida que se aleja de ellos. Todos los elementos sobrepasan los rangos establecidos por las agencias internacionales. El Arsénico se asoció con distancia a la fuente, textura y materia orgánica; el Plomo con la distancia a la fuente y textura; el Cinc con distancia a la fuente y el Cadmio con la distancia a la fuente, pH y profundidad de suelo.

2.3.2 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 arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades. Metales pesados, se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida. La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades

humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas. Normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de contaminación, excepto en algunos lugares muy concretos. La contaminación de origen humano, en cambio, se concentra en zonas concretas y, es mucho más peligrosa que la natural. Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica (Nars *et al.*, 2006; Abeliuk, 2007).

▣ Industria. Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos, de las cuales se pueden mencionar la industria de la construcción, minería, energía, textil y piel, automoción, navales, siderurgia, química inorgánica, química orgánica, fertilizantes, pasta, papel, plaguicidas, fibras químicas, pinturas, barnices y tintas.

▣ Vertidos urbanos. La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (Plomo y otros metales).

▣ Navegación. Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes daños ecológicos.

- ✚ Agricultura y ganadería. Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas (Abeliuk, 2007).

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

Obasohan *et al.* (2007), realizaron una investigación en el Río Ikpoba en Benin, ciudad capital del estado de Nigeria, donde se localiza el país más popular de África y en el que se ubican los sectores agrícola e industrial de mayor importancia y productivos, solo un 70% de las industrias fabriles está situado cerca de las aguas superficiales costeras e interiores. En el Río Ikpoba se realizaron análisis para determinar la presencia de metales pesados, debido a la preocupación de las comunidades aledañas que utilizan el recurso para riego agrícola y consumo humano así como para actividades de pesca y la acuicultura. En las determinaciones se encontraron niveles no aceptables de metales, como Cu, Zn, Cr, Ni y Pb, de los que se sabe ocasionan daños a la salud en los humanos y son transportados a través de la cadena alimenticia.

Por lo que se atribuye a la industria y sector agrícola la presencia de dichos elementos. Además en África, la carencia de datos científicos y ecotoxicológicos eficaces para el control y la prevención de la contaminación acuática se ha

reconocido y se ha destacado pues la información existente sobre los niveles de la contaminación de metal pesado es dispersada y escasa.

2.3.3 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.

2.4 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).

2.4.1 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).

2.4.1.1 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).

2.4.1.2 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)**.

2.4.2 Agua

2.4.2.1 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).

2.4.2.2 Ley general del equilibrio ecológico y la 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).

2.4.2.3 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).

2.4.3 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

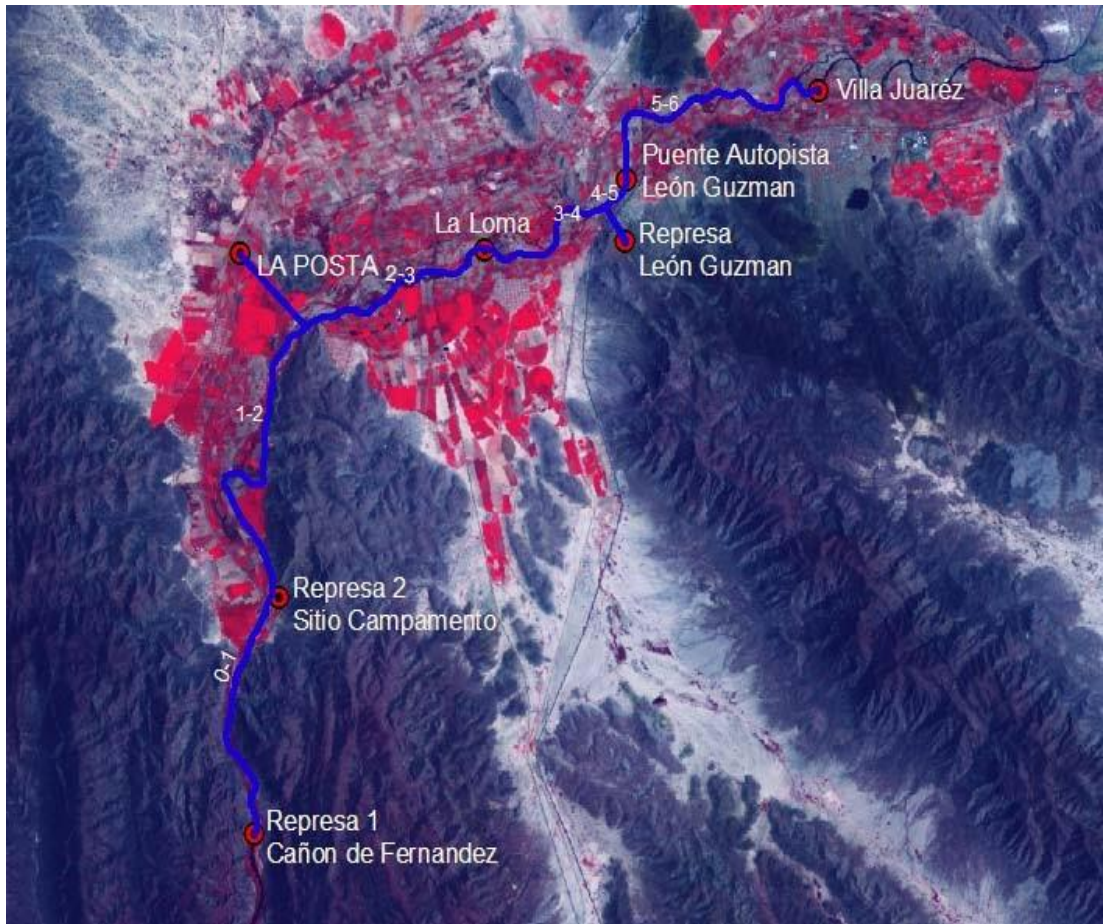
El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de suelos ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el municipio de Torreón, Coahuila, México.

3.1 Localización geográfica de los puntos de muestreo

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

Cuadro 1. Localización geográfica de los puntos de muestreo

Sitio	Localización geográfica	Altura sobre el nivel del mar
La posta	N: 25° 26' 43" W: 103° 44' 033"	1158 m
Villa Juárez	N: 25° 30' 20.4'' W: 103° 38' 38''	1150 m
Represa León Guzmán	N: 25° 28' 27.7'' W: 103° 38' 39.11''	1158 m
Sitio León Guzmán	N: 25° 29' 14.6'' W: 103° 38' 38''	1150 m
La Loma	N: 25° 28' 22'' W: 103° 40' 049''	1152 m
Cañón de Fernández	N: 25° 21' 01'' W: 103° 44' 254''	1180 m
Campamento	N: 25° 24' W: 103° 44'	1172 m



Gráfica 1.- Ubicación geográfica del área de estudio.

3.2 Determinación de los sitios de muestreo

Las muestras obtenidas se tomaron en las siete represas, mismas que se localizan a lo largo del cauce del Río Nazas, entre los puntos de la represa Villa Juárez a una altura de 1141 m. 25° 30' 20.4'' latitud norte, 103° 35' 40'' longitud oeste y el Cañón de Fernández a una altura de 1180 metros sobre el nivel del mar 25° 21' 01'' latitud norte y 103° 44' 254'' longitud oeste.

3.3 Toma de muestras

El muestreo se realizó utilizando la técnica al azar por triplicado en cada uno de los siete puntos, la primera toma de muestras se obtuvieron en el mes de abril del 2006 y la segunda en el mes de agosto del mismo año.

Para la localización geográfica se utilizo un sistema de posicionamiento global (GPS) extrem, marca garmin, 12 canales.

3.4 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.

3.5 Análisis químico del sedimento

En las muestras de sedimentos se determinaron las siguientes características:

Determinación	Método utilizado
Textura Bouyoucos Arena % Bouyoucos Arcilla %	
Bouyoucos Limo % Bouyoucos	
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

Capacidad de intercambio Catiónico meq/100 gr	Cloruro de bario
Nitratos N-NO ₃ ppm	Extracción con hidróxido de calcio
Plomo, cobre, zinc y cadmio	Extracción con HNO ₃ 4 M y leído en aparato de absorción atómica.

3.6 Análisis de metales pesados y arsénico

Para llevar a cabo los análisis de los metales pesados en el sedimento 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.

3.7 Análisis estadístico

Para los siete puntos de muestreo se realizó un análisis de varianza por fecha de muestreo mediante el programa Stat Graphic versión 5.1. Además se empleó una estadística descriptiva para presentar los datos. Se utilizó la correlación lineal para establecer relaciones entre las características químicas del sedimento y la concentración de los metales pesados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objeto de evaluar los niveles y distribución de metales pesados (Cd, Pb, Cu, Zn) y arsénico (As) en los sedimentos del río nazas se contemplaron dos etapas: La de abril del 2006 (Etapa I) y la de agosto del 2006 (Etapa II), en base a esto a continuación se presentan los principales resultados obtenidos.

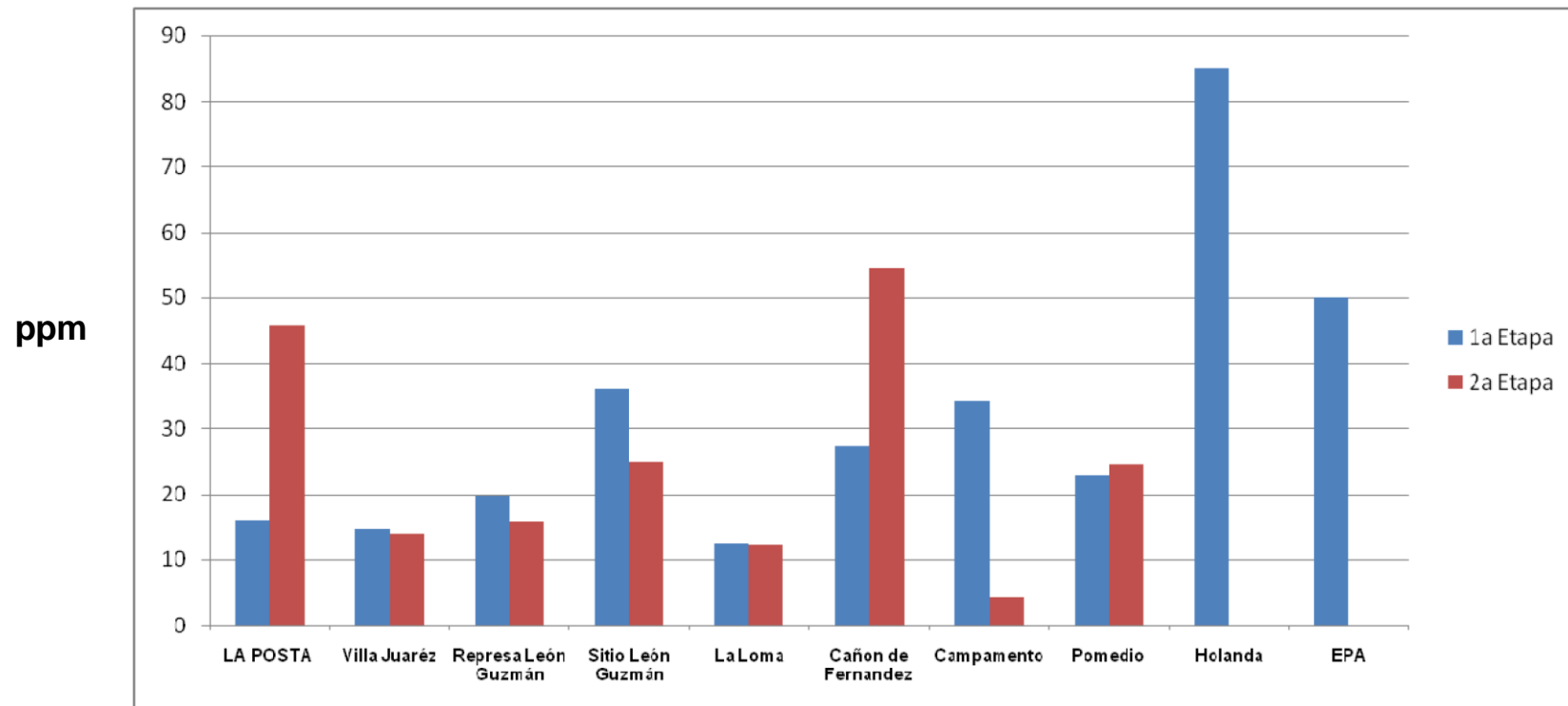
Los resultados de los análisis físico químicos del sedimento se muestran en el cuadro 5 los cuales nos indican que para el sitio del campamento en el Cañón de Fernández en la primera etapa presentan una concentración de materia orgánica de 0.81%, con 85.68% de arena y 65.11ppm de nitratos. Las condiciones son similares en la represa ubicada en el llamado sitio León Guzmán en la segunda etapa donde encontramos una concentración de materia orgánica de 2.29%, con 78.4% de arena y 47.44 ppm de nitratos. Lo descrito anteriormente basa su importancia a la alta cantidad de metales que se encontraron en los lugares descritos ya que los parámetros físico-químicos influyen en la acumulación de metal en el sedimento.

4.1 Plomo

La condición de la ribera en el sitio León Guzmán donde se encontró la mayor concentración de plomo en la primera etapa de muestreo es mala, en esta se observa la aparición de especies como el mezquite (*Prosopis glandulosa*) y el huizache (*Acacia farnesiana*). En dicho sitio se encontró una textura arenosa, y una concentración de 1.6% de materia orgánica. Se determinó que la concentración de nitratos en el sedimento es de 65.11 ppm lo cual favorece la acumulación del metal en el sedimento ya que este es un factor indirecto para que se de dicho acumulamiento y la posible causa de que haya una alta concentración de nitratos es que el lugar se encuentra rodeado de tierras dedicadas a la agricultura y los químicos adicionados a la misma se desplazan al río por diferentes medios ya sea erosión hídrica o eólica acumulándose en el sedimento.

En la gráfica 2 se presenta la concentración de plomo encontrada en cada uno de los 7 sitios de muestreo en las dos etapas de muestreo, así como su promedio y la normatividad internacional. En la primera etapa se puede observar que en el sitio León Guzmán se encontró la mayor concentración de plomo, (36.1 ppm). Mientras que en la segunda etapa se encontró que el lugar con más alto nivel de plomo fue el Cañón de Fernández con 54.5 ppm y un promedio para los siete puntos de muestreo de 24.4571 ppm. Según las normas internacionales como lo son la EPA y Holanda la mayoría de los lugares se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, para la EPA es de 50 ppm y para Holanda es de 85 ppm los límites permitidos, a excepción de la segunda etapa donde sobrepasa la norma establecida por la EPA.

PLOMO



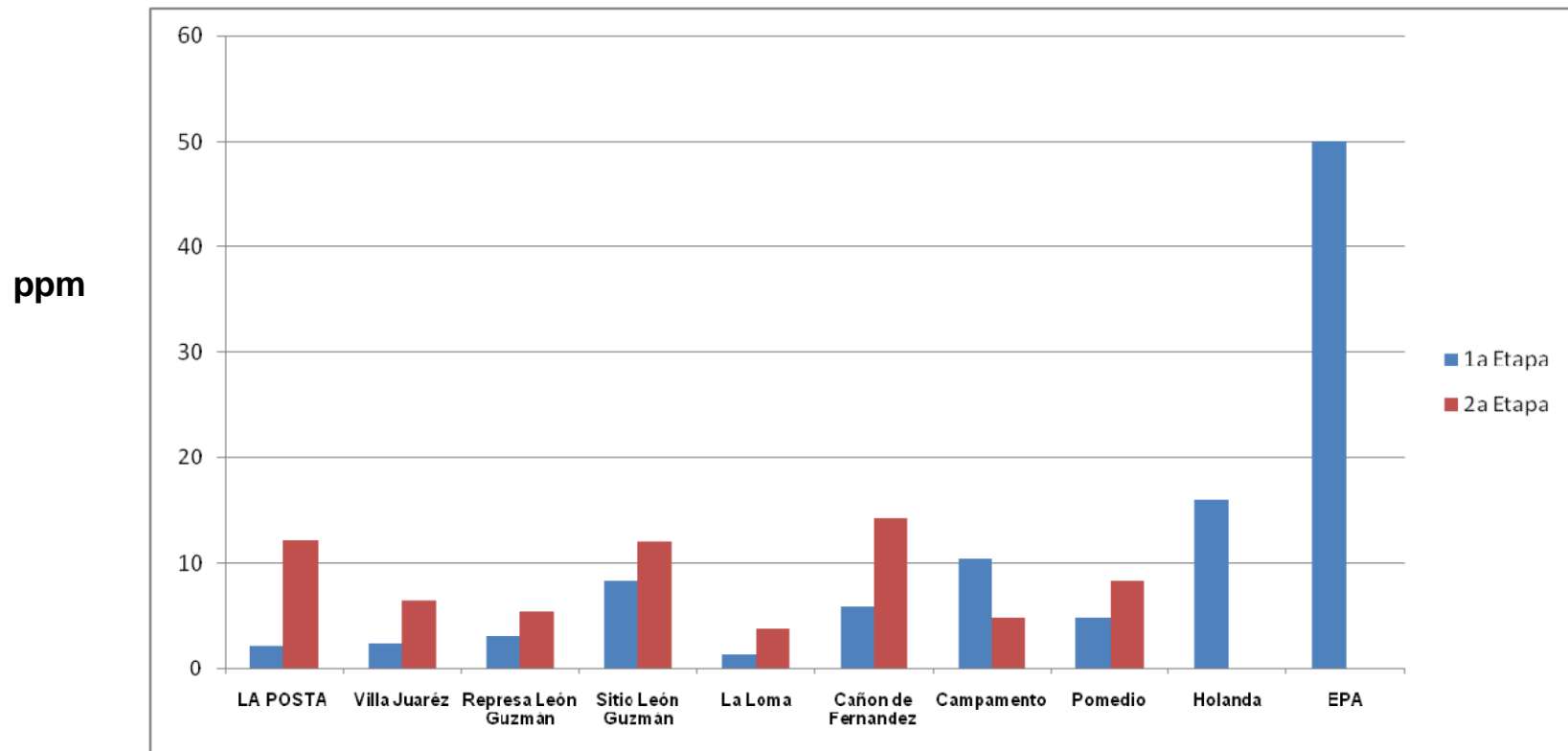
Gráfica 2.- Concentración de plomo en sedimentos de los siete sitios de estudio en sus dos etapas, promedio y comparación con normas internacionales (EPA y Holanda).

4.2 Cobre

En la gráfica 3 se presenta la concentración de cobre encontrada en los 7 sitios de estudio en sus dos etapas así como su promedio y la normatividad internacional. En la primera etapa el lugar con mayor concentración de cobre fue el Cañón de Fernández en el sitio del campamento con 10.4 ppm. En la segunda etapa la mayor concentración se presentó en la represa del Cañón de Fernández siendo de 14.3 ppm y un promedio para todos los puntos de muestreo de 4.82 ppm. Los resultados obtenidos se encontraron dentro de los límites máximos permisibles, según normatividad internacional de la EPA (50 ppm) y Holanda (16 ppm).

Es importante hacer notar que las represas del Cañón de Fernández se encuentran muy próximas a la entrada norte del Cañón, lo cual significa que el agua antes de llegar a la represa pasa por un tramo ripario de elevada condición ecológica, y que probablemente esto pudiera ser un factor que está relacionado con bajas concentraciones de metales.

COBRE

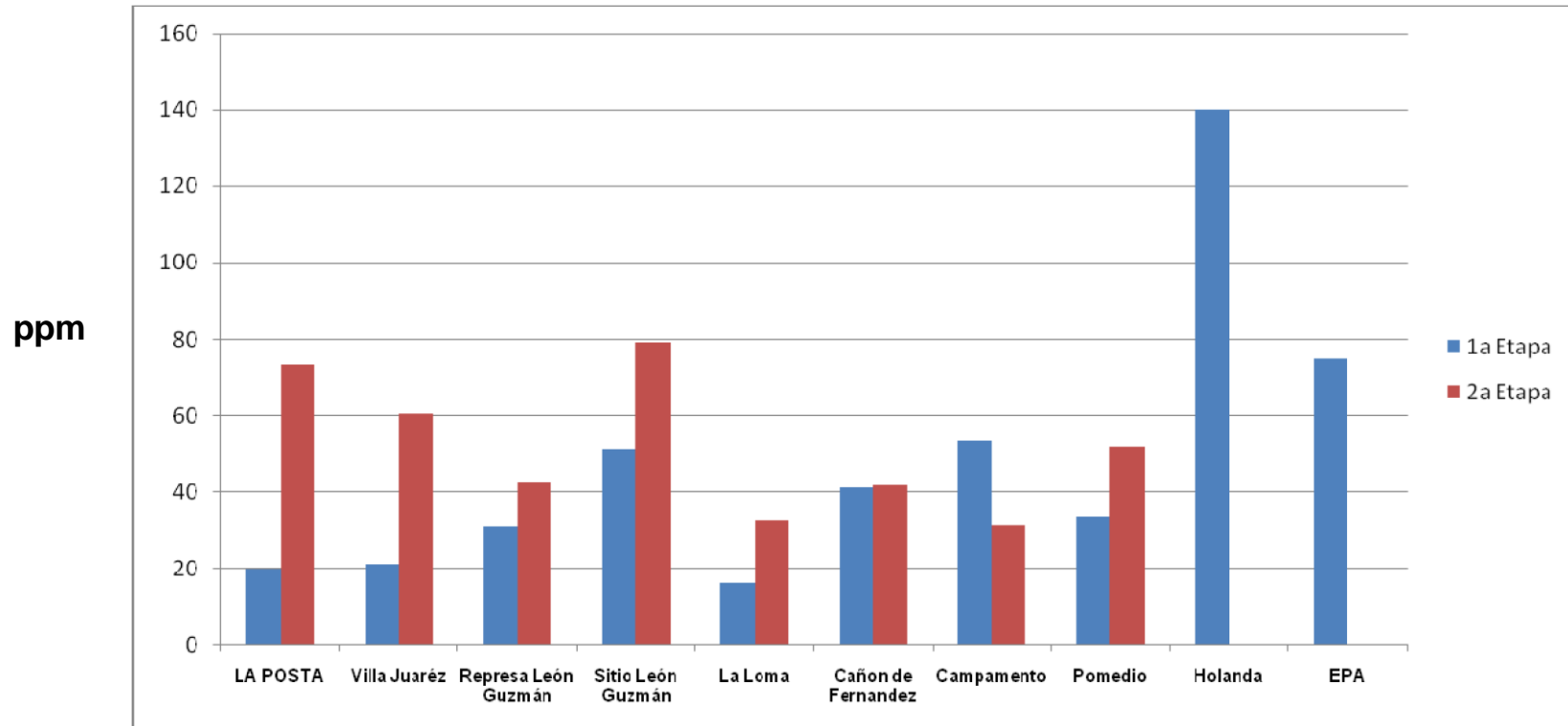


Gráfica 3.- Concentración de cobre en sedimento de los siete sitios de estudio en sus dos etapas, promedio y comparación con normas internacionales (EPA y Holanda).

4.3 Zinc

En la gráfica 4 se muestran los resultados obtenidos de la concentración de zinc en los sedimentos de los 7 puntos de muestreo en sus dos etapas, el promedio y la normatividad internacional. En la primera etapa la concentración más alta de zinc se encontró en el Cañón de Fernández en el sitio del campamento con 53.75 ppm. En la segunda etapa la concentración más alta se localizó en el sitio León Guzmán con 79.2 ppm. Se obtuvo un promedio de 33.5714 ppm para la primera etapa y 51.6714 ppm para la segunda. Según la normatividad internacional el zinc detectado se encuentra dentro de los límites máximos permisibles para efectos de las normas expedidas por Holanda ya que es de 140 ppm y en el caso de la EPA es de 75 ppm por lo que solamente el sitio León Guzmán se encuentra fuera del límite máximo permisible. Debido a que cerca de el mismo están ubicados terrenos dedicados a la agricultura y estos llevan los residuos de los químicos que se utilizan en ellos por medio de arrastre eólico o hídrico al río donde se es atrapado por los sedimentos.

ZINC



Gráfica 4.- Concentración de zinc en sedimento de los siete sitios de estudio en sus dos etapas, promedio y comparación con normas internacionales (EPA y Holanda).

4.4 Cadmio

En la gráfica 5 se muestra la concentración de cadmio en los 7 puntos de muestreo en sus dos etapas, el promedio y la normatividad internacional. En la primera etapa la concentración más alta de cadmio se encontró en el Cañón de Fernández en el sitio del campamento con 3.5 ppm. En la segunda etapa la concentración más alta se localizó en la represa del Cañón de Fernández con 4.5 ppm. Se obtuvo un promedio de 2.42 ppm para la primera etapa y 2.24 ppm para la segunda. Según la normatividad internacional el cadmio detectado se encuentra arriba de los límites máximos permisibles en la mayor parte de los sitios muestreados a excepción de La Posta en su primera etapa, Villa Juárez en la segunda etapa, Represa León Guzmán en la segunda etapa y La Loma en ambas etapas, ya que para la EPA y Holanda es de 2 ppm. Las concentraciones altas del metal se considera que es debido a la existencia de minas cerca del río y los desechos son arrastrados hasta él.

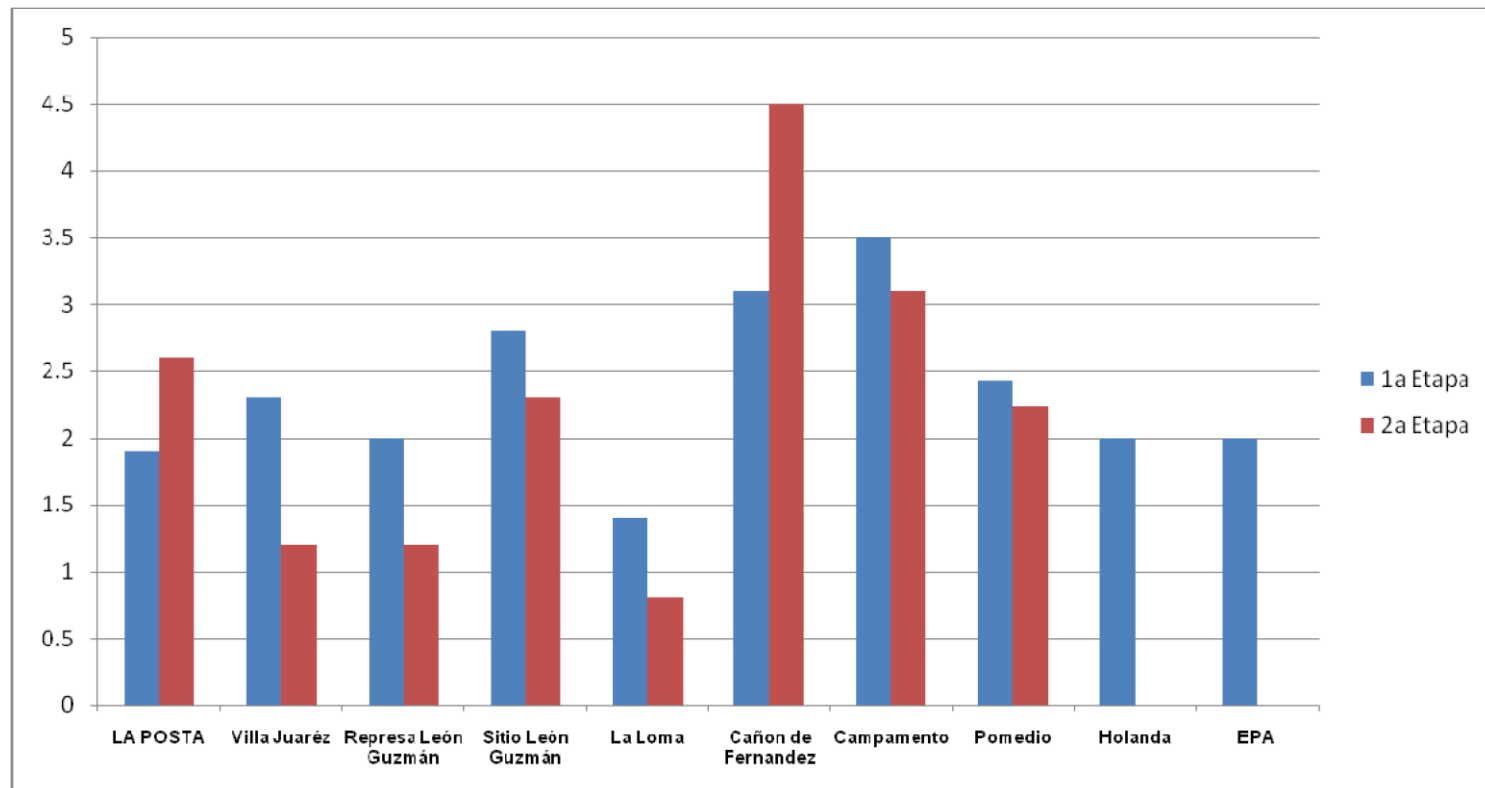
4.5 Arsénico

No se detecto arsénico en el sedimento de los sitios estudiados, se utilizó el test marca Merk, para medir la concentración del elemento, sin embargo se obtuvieron resultados negativos.

En el cuadro 2 se presentan los promedios obtenidos en cada uno de los análisis químico de los sedimentos. Se puede observar la materia orgánica que es uno de los parámetros de mayor importancia que intervienen en la acumulación de metales (Marín-Guirao, 2005) tuvo un promedio alto en ambas etapas.

CADMIO

ppm



Gráfica 5.- Concentración de cadmio en sedimento de los siete sitios de estudio en sus dos etapas, promedio y comparación con normas internacionales (EPA y Holanda).

Cuadro 2. Promedios generales de los análisis químicos del sedimento realizados en las dos etapas de estudio.

Etapa	Media							
	Nitratos ppm	MO %	pH	CE mS/cm	CIC meq/100gr	Arena %	Arcilla %	Limo %
1ª Etapa	30.7129	0.831429	7.82429	1.50857	4.28571	75.0286	13.0171	11.9543
2ª Etapa	62.4829	1.38143	7.78714	1.70129	9.71429	58.0271	18.2286	23.7443

4.6 Análisis de Varianza

Se practicó un análisis de varianza para definir si existía diferencia estadística entre los valores promedio de las concentraciones de metales pesados en cada una de las fechas de muestreo. Como se puede observar en el Cuadro 3, no se encontró diferencia ($P > .05$) entre los valores medios de los metales debido a la diferente fecha de muestreo. Lo cual pudo deberse a un bajo número de repeticiones en el análisis, o a que se realizó un buena forma el muestreo de sedimentos. Sólo se encontró diferencia ($P < .05$) entre los valores promedio de los nitratos contenidos en el sedimento.

Cuadro 3. Análisis de Varianza para plomo, cobre, zinc cadmio, nitratos y materia orgánica para cada uno de los puntos en sus 2 etapas.

Metal	Promedio		P
	1ª Etapa	2ª Etapa	
Plomo ppm	22.9 ^a	24.45 ^a	0.84
Cobre ppm	4.82 ^a	8.41 ^a	0.10
Zinc ppm	33.57 ^a	51.67 ^a	0.76
Cadmio ppm	2.42 ^a	2.24 ^a	0.74
Nitratos ppm	30.71 ^a	62.48 ^b	0.02
Materia orgánica %	0.83 ^a	1.38 ^a	0.26

(P<0.05)=ab

(P>0.05)=aa

4.7 Correlaciones entre los parámetros físicos y químicos del sedimento y los metales pesados

En los análisis obtenidos en las dos etapas de muestreo se encontraron correlaciones importantes entre las características físicas y químicas del sedimento y la acumulación de los metales. (Cuadro 4)

Existe una elevada correlación entre los metales encontrados. Así se pueden mencionar las correlaciones entre el plomo y el resto de los metales, las cuales variaron entre 0.49 y 0.83. El cobre se asoció con el zinc y el cadmio, aunque no se encontró correlación entre estos últimos. Con respecto a las características químicas del sedimento, la materia orgánica se encontró correlacionada con la concentración del plomo, no obstante, no se encontró relación de este metal con los nitratos, de manera similar fue la correlación entre el cobre y la materia orgánica (0.8429), siendo inferior (0.34013) con los nitratos. El zinc también mostró una correlación elevada con la materia orgánica (cuadro 4). El cadmio fue el único metal que no mostró una correlación importante con las concentraciones químicas del sedimento. La correlación más elevada de este metal fue con la arcilla (0.57).

Respecto a los nitratos estos se encontraron correlacionados con la materia orgánica en un 0.505829, lo cual coincide con lo descrito en la literatura por González- Fairén (2005) quien en un estudio encontró que microorganismos presentes en sedimentos donde hay poco oxígeno son potencialmente aceptores de electrones para la respiración (oxidantes) como los sulfatos y los nitratos, así mismo esta correlación se relaciona de manera indirecta con la acumulación de metales pesados en los sedimentos en sentido de que la materia orgánica tuvo una significativa correlación con los metales detectados.

Cuadro 4. Principales correlaciones de las características químicas con los metales pesados detectados en el sedimento en cada uno de los puntos de muestreo.

Pares de variables	Coefficiente de correlación (r²)
Plomo-Cobre	0.83251
Plomo-Zinc	0.498103
Plomo-Cadmio	0.691227
Plomo-Materia Orgánica	0.696054
Cobre-Zinc	0.796932
Cobre-Cadmio	0.638186
Cobre-Materia Orgánica	0.842918
Cobre-Cap. Int. Cat.	0.58453
Cobre-Limo	0.53509
Zinc-Materia Orgánica	0.87326
Cadmio-Nitratos	0.0562598
Cadmio-Arcilla	0.572311
Nitratos-Materia Orgánica	0.505829
Nitratos-Cap. Int. Cat.	0.720902
Cap. Int. Cat.-Limo	0.568999

Cuadro 5. Análisis físico – químicos de los sedimentos en cada punto de muestreo en sus dos etapas.

LUGAR	La Posta		Villa Juárez		Represa León Guzmán		Sitio León Guzmán		La Loma		Cañon de Fernández		Campamento	
	1ª Etapa	2ª Etapa	1ª Etapa	2ª Etapa	1ª Etapa	2ª Etapa	1ª Etapa	2ª Etapa	1ª Etapa	2ª Etapa	1ª Etapa	2ª Etapa	1ª Etapa	2ª Etapa
Textura	Arenoso	Franco	Arenoso	Migajónarenoso	Arenoso	Franco	Francoarenoso	Migajónarenoso	Arenoso	Arenosomigajón	Arenoso	Migajónarcillosoarenoso	Francoarenoso	Migajónarcilloso
Arena %	89.68	48.4	85.68	62.47	89.68	44.4	56.4	78.4	90.4	83	85.68	56.76	27.68	3.76
Arcilla %	9.04	21.6	11.04	13.6	9.04	12.88	17.96	11.24	7.96	9.24	9.04	20.52	27.04	38.52
Limo %	1.28	30	3.28	23.93	1.28	42.72	25.64	10.36	1.64	7.76	5.28	22.72	45.28	28.72
pH	7.68	7.52	7.87	7.86	7.79	7.97	7.86	7.48	7.97	7.83	7.7	7.82	7.9	8.03
Conductividad eléctrica mS/cm	3.7	2.38	1.04	0.97	0.77	0.73	1.18	2.59	0.89	0.84	1.99	3	0.99	1.38
Materia Orgánica %	0.41	3.25	0.42	1.21	0.56	0.48	1.66	2.29	0.26	0.16	0.81	1.45	1.69	0.83
Capacidad de Intercambio Cationico meq/100 g	4	12	4	9	5	11	4	8	4	6	4	12	5	10
Nitratos ppm	20	102.61	20	54.88	33.17	75.34	65.11	47.44	31.22	25.36	37.07	44.88	8.42	86.95
Plomo	15.9	45.8	14.6	14	19.7	15.7	36.1	24.8	12.3	12.2	2.4	54.5	34.3	4.2
Cobre	2.2	12.1	2.4	6.5	3.1	5.4	8.4	12	1.4	3.7	5.9	14.3	10.4	4.9
Zinc	20	73.2	21.25	60.6	31.25	42.6	51.25	79.2	16.25	32.8	41.25	41.9	53.75	31.4
Cadmio	1.9	2.6	2.3	1.2	2	1.2	2.8	2.3	1.4	0.8	3.1	4.5	3.5	3.1

V. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación, se detectó la presencia de metales pesados en los sedimentos analizados.

Los niveles que se encontraron de metales pesados en las muestras de sedimento de cada sitio analizado fueron inferiores a los límites máximos permisibles que establecen las normas internacionales en su mayoría, siendo el cadmio el único elemento que en casi todos los sitios se encuentra fuera de norma (EPA y Holanda).

La relación más alta respecto a los análisis físico-químicos fue la del zinc con la materia orgánica con un valor de $r^2=0.87326$ confirmando su importancia en la acumulación de los metales en el sedimento. Respecto a la relación de la textura con la acumulación del metal en el sedimento, la mayor relación es con el limo en lo que se refiere a plomo, cobre y zinc aunque en el caso del cadmio la mayor afinidad es con la arcilla.

VI. RECOMENDACIONES

- ▣ Elaborar proyectos para analizar las causas específicas por las que se acumulan los metales en el sedimento.

- ▣ Elaborar Normas Oficiales Mexicanas en materia de sedientos.

- ▣ Aplicar metodologías de biorremediación en sedimentos donde se detecten cantidades considerables de metales pesados.

VI. LITERATURA CITADA

- 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/leyecologica-mexico.shtml>). (consultada el 3 de octubre del 2007).
- Bautista-Silva, J. L. 2004. (En línea). Transformar el uso de la tierra en cuencas hidrográficas para reducir el aporte de sedimentos a bahías, estuarios y desembocaduras de los ríos. (http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=520). (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 Oronn Societies. Vol. 3. p.p. 35863592.
- 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. 135150.
- Buykx, S. E. J., M. A. G. T. Hoop y J. P. G. Loch. 2002. Dissolution kinetics of heavy metals in dutch carbonate and sulfide-rich freshwater sediments. Environ. Qual. Vol. 31. p.p. 573-580.
- Cañizarez-Villanueva, R.O. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el

uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*.

Vol. 42. p.p. 131-143.

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

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

(Consultada el 25 de Septiembre del 2007).

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

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

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

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

- Cummings, D. E., A. W. March, B. Bostick, S. Spring, F. Caccavo, S. Fendorf y R. F. Rosenzweig. 2000. Evidence for microbial Fe (III) reduction in anoxic, Mining-Impacted Lake Sediments (Lake Coeur d' Alene, Idaho). *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 66. N° 1. p.p. 154-162.
- Donahue, W. F., E. W. Allen y D. W. Schindler. 2006. Impacts of coal-fired power plants on trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons(PAH's) in lakesediments in central Alberta, Canada. *Journal of Paleolimnology*. Vol. 35. p.p. 111- 128.
- Elementos Químicos (EQ). 2007. (En línea). Arsénico. (<http://herramientas.educa.madrid.org/tabla/6usos/as6.html>). (Consultada el 21 de Septiembre del 2007).
- Fox, P. M. y H. E. Doner. 2003. Accumulation, release, and solubility of arsenic, molybdenum, and vanadium in wetland sediments. *Journal Environment. Qual*. Vol 32. p.p. 2428-2435.
- Galván-Bobadilla, A. I., R. M. García-Escamilla, N. Gutierrez-García, M. L. Mendoza-Magaña y R. Rosiles-Martínez. 2005. Concentraciones de cádmio y zinc en tejido de cáncer prostático. *Revista Mexicana de Patología Clínica*. Vol. 52. N° 2. p.p. 109-117.
- Gamboa-Pérez, H., A. Pereira-Corona, P. Fragoso-Servón, C. Avila-Reveles, Y. Medina-Gamez, B. Prezas Hernández, E. Cabrera, R. Briseño-Millán, J. Maerk-Steurer, R. Lozano-Cortes, J. Olivarez-Mendoza, T. DuchGary, I. Zaragoza-Angeles, N. Borgues -Gamboa, H. VenturaHernández 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. Tracemetal 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. Médina. 2004. Espectofotometría 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-Rodríguez, D. G. López-Veneroni y A. Vázquez-Botello. 2006. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. *Interciencia*. Vol. 31. N° 9. p.p. 647-656.
- Hu, Z., R. Navarro, N. Nomura, H. Kong, S. Wijesekara y M. Matsumura. 2007. Changes in chlorinated organic pollutants and Heavy metal content of sediment during pyrolysis. *Env. Sci. Pollut. Res.* Vol. 14. N° 1. p.p. 12-18.
- INE. 2001. (En línea). Bases de política para la prevención de la contaminación del suelo y su remediación. (<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/343/element.html>). (Consultada el 2 de octubre del 2007).
- INE. 2006. (En línea) Reglamento interior de la Secretaria de medio ambiente y Recursos Naturales. (http://www.ine.gob.mx/ueajei/download/reg_semarnat.pdf). (Consultada el 2 de octubre del 2007).
- Keller, A., B. Steiger, S. Zee y R. Schulín. 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/tablaPeriodica/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 bottom 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)Sintesis de la situcaiión 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.149155.

- Rae, J. E. y J. R. L. Allen. 1993. The significance of organic matter degradation in the interpretation of historical pollution trends in depth profiles of stuarine sediment. *Estuaries*. Vol. 16. N° 3B. p.p. 678-682.
- SAGARPA. 2001. (En línea). Anuario estadístico de la producción agropecuaria 2001. (<http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/ANUARIO%202001.pdf>). (Consultada el 10 de agosto del 2001).
- Sanchez-Albavera, F. y J. Larde. 2006. (En línea). Minería y competitividad internacional en América Latina. p.p. 103. (<http://www.books.google.com.mx>). (Pagina Consultada el 24 de Septiembre del 2007).
- Schmidt, U. 2003. Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plantaccumulation, and leaching of heavy metals. *Journal Environ. Qual.* Vol. 32. p.p. 1939-1954.
- Sowder, A. G., P. M. Bertsch y P. J. Morris. 2003. Partitioning and availability of uranium and nickel in contaminated riparian sediments. *Journal Environ. Qual.* Vol. 32. p.p. 885-898.
- Suarez, P. y R. Reyes. 2002. La incorporación de metales pesados en las bacterias y su importancia para el ambiente. *Interciencia*. Vol. 27. N° 4. p.p. 160-164.
- Trimble, C. A., R. W. Hoenstine y A. B. Highley. 1999. Baseline sediment trace metals investigation: Steinhatchee river stuary, Florida, Northeast Gulf of Mexico. *Marine Georesources and Geotehcnology*. 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.