

01177



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA**

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.  
NOMBRE: LUCRECIA TORRES PALOMINO  
FECHA: 12-MARZO-04  
FIRMA: [Firma]

**EVALUACIÓN DE UN SITIO CONTAMINADO POR  
RESIDUOS DE BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO**

T E S I S  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

**ING. LUCRECIA TORRES PALOMINO**

**DIRECTOR DE TESIS: DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D. F. 2004**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ÍNDICE

## ABREVIATURAS

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

## INTRODUCCIÓN

HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y ALCANCES

## **CAPÍTULO 1 CASO DE ESTUDIO..... 3**

1.1	SELECCIÓN DEL SITIO.....	3
1.2	CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE CHAPA DE MOTA .....	5
1.2.1	Clima .....	5
1.2.2	Topografía .....	5
1.2.3	Edafología.....	5
1.2.4	Hidrología .....	6
1.3	FOTOGRAFÍAS DEL SITIO.....	8

## **CAPÍTULO 2 PROPIEDADES DEL PLOMO ..... 11**

2.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS .....	11
2.2	APLICACIONES.....	12
2.3	DESCRIPCIÓN DE BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO.....	14
2.4	RECUPERACIÓN DE PLOMO MEDIANTE EL RECICLAJE DE BATERÍAS ÁCIDO-Pb....	17

## **CAPÍTULO 3 TOXICIDAD..... 19**

3.1	ABSORCIÓN Y FUENTES PRINCIPALES DE EXPOSICIÓN AL PLOMO .....	19
3.2	PRESENCIA DE PLOMO Y LÍMITES PERMISIBLES .....	20
3.2.1	En humanos.....	20
3.2.2	En animales .....	22
3.2.3	En agua .....	24
3.2.4	En aire .....	24
3.2.5	En suelo.....	25
3.3	EFFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN AL PLOMO .....	29

## **CAPÍTULO 4 TÉCNICAS DE MUESTREO Y ANÁLISIS..... 31**

4.1	LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA Y MÉTODOS DE MUESTREO .....	31
4.1.1	Suelo .....	31
4.1.2	Agua superficial.....	35

4.1.3	Sedimentos.....	35
4.1.4	En pilas de materiales.....	36
4.1.5	Suelo a diferentes profundidades.....	36
4.2	METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	36
4.2.1	Muestras de agua.....	36
4.2.2	Muestras de suelo y sedimentos.....	36
4.2.3	Métodos para determinar metales.....	38
4.3	ELABORACIÓN DE ENCUESTAS PARA LA POBLACIÓN DE CHAPA DE MOTA.....	40
<b>CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN.....</b>		<b>41</b>
5.1	CONCENTRACIONES DE METALES.....	41
5.2	EVALUACIÓN DEL PREDIO EN EL CUAL SE UBICABA LA INDUSTRIA FUNDIDORA... ..	46
5.3	EVALUACIÓN DEL PREDIO DONDE ESTÁN ABANDONADOS LOS RESIDUOS DE..... BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO.....	48
5.4	EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS EN LA PRESA DANXHÓ.....	50
5.5	EVALUACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LAS ENCUESTAS.....	51
<b>CAPÍTULO 6 PROPUESTA DE SANEAMIENTO Y DE MANEJO DE BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO.....</b>		<b>53</b>
6.1	PROPUESTA DE SANEAMIENTO Y SU EVALUACIÓN.....	53
6.1.1	Tratamiento electrocinético.....	54
6.1.2	Reducción / oxidación química (redox).....	56
6.1.3	Fitorremediación.....	57
6.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LA POBLACIÓN CERCANA A LOS ..... SITIOS CONTAMINADOS POR BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO.....	60
6.3	DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE BATERÍAS.....	60
6.4	PROCESO LIMPIO EN UNA INDUSTRIA DE RECICLAJE DE BATERÍAS.....	61
6.4.1	Recolección.....	61
6.4.2	Transporte.....	62
6.4.3	Almacenamiento.....	63
6.4.4	Reciclaje.....	63
<b>CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES.....</b>		<b>65</b>
<b>FUENTES BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>67</b>
NORMAS CONSULTADAS.....		71
<b>ANEXO I.....</b>		<b>73</b>

## **ABREVIATURAS**

ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S.A
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
CMP+L	Centro Mexicano para la Producción más Limpia
CNA	Comisión Nacional del Agua de México
CNPMLTA	National Center of Cleaner Production and Environmental Technology
CFR40	Code Federal Regulations Vol. 40 de U.S.A
DALA	Ácido Delta Amino Levulínico
DHHS	Department of Health and Human Services, U.S.A.
ILMC	International Lead Management Center, Inc. USA
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental MÉXICO
NSCEP	National Service Center for Environmental Publications
NLIC	National Lead Information Center U.S.A.
NOM	Norma Oficial Mexicana
OCDE	Organization for Cooperation of Development Economic
OMEE	Ontario Ministry of the Environment and Energy
OSHA	Organization of Safety and Health Administration U.S.A.
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección Ambiental de México
UNEP	United Nations Environment Programme
UTN	Unidad Nefelométrica de Turbiedad
USEPA	United States Environment Protection Agency
WHO	World Health Organization

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<u>TABLAS</u>		<u>PAG.</u>
Tabla 1.1	Tipos de suelo en Chapa de Mota y sus características	6
Tabla 2.1	Características del plomo como elemento	11
Tabla 2.2	Compuestos de plomo y sus aplicaciones	13
Tabla 2.3	Componentes de batería ácido-plomo	15
Tabla 2.4	Concentración de metales en el electrolito de los acumuladores de ácido-plomo	16
Tabla 2.5	Fases del proceso de reciclaje	18
Tabla 3.1	Fuentes principales de plomo y ruta de exposición	20
Tabla 3.2	Datos de laboratorio que sugieren intoxicación por plomo	21
Tabla 3.3	Valores criterio de plomo en sangre en humanos	22
Tabla 3.4	Efectos de varias fuentes de plomo en animales	23
Tabla 3.5	Concentraciones tóxicas de metales en animales	23
Tabla 3.6	Límites permisibles de metales en agua	24
Tabla 3.7	Límites permisibles de metales en suelo	25
Tabla 3.8	Forma del metal retenido en el suelo & disponibilidad para plantas y organismos	28
Tabla 3.9	Efectos en la salud con respecto a los niveles de plomo en sangre y al tipo de exposición a este metal	30
Tabla 4.1	Márgenes de concentración de absorción atómica con aspiración directa	39
Tabla 5.1	Concentraciones de plomo y cadmio en agua de los sitios de estudio vs. estándares nacionales e internacionales	42
Tabla 5.2	Concentraciones de plomo y cadmio en suelo de los sitios de estudio vs. estándares y criterios nacionales e internacionales	44
Tabla 5.3	Datos y síntomas de intoxicación de las personas encuestadas	51
Tabla 6.1	Tratamientos de saneamiento para suelo contaminado con metales	53
Tabla 6.2	Especies de plantas acumuladoras de metales	59
Tabla 6.3	Empresas de recolección y transporte de residuos peligrosos	61
<u>FIGURAS</u>		
Figura 1.1	Ubicación de Chapa de Mota, Estado de México INEGI (2002)	5
Figura 1.2	Mapa topográfico de la ubicación de los sitios de estudio en Chapa de Mota 1:50,000 INEGI 2002	7
Figuras 1.3, 1.4	Vista de lejos y acercamiento de la nave industrial	8
Figuras 1.5	paso de un riachuelo hacia la presa, ubicado a un costado de la nave	8
Figura 1.6, 1.7	Zonas con escoria de metal, sin crecimiento de vegetación	8
Figuras 1.8, 1.9	Vista de la pendiente del terreno con residuos y proporción del montículo con una persona	9
Figuras 1.10, 1.11	Proporción de cajas de baterías con respecto a unas llaves y vista superior del montículo hacia el centro de Chapa de Mota	9
Figura 1.12, 1.13	Cause que pasa atrás del montículo y vista posterior del montículo	9
Figura 1.14	Panorámica de la presa	10
Figura 1.15	Orilla de la presa	10
Figura 1.16, 1.17	Riachuelo que parte de la presa por el extremo norte y su salida por una compuerta	10
Figura 2.1	Elementos de identificación de riesgo del plomo	12
Figura 2.2	Corte transversal de batería ácido-plomo	14
Figura 2.3	Planta típica de reciclaje de baterías ácido-plomo	17
Figura 3.1	Dinámica de los metales pesados en suelo	26
Figura 4.1	Mapa topográfico de muestreo en el predio donde se localiza la nave industrial recuperadora de metales desocupada, Chapa de Mota Estado de México	32
Figura 4.2	Mapa topográfico de muestreo en el predio de residuos de baterías ácido-plomo abandonados, Chapa de Mota Estado de México	33
Figura 4.3	Mapa de muestreo en la presa Danxhó	34
Figura 4.4	Digestión para metales totales ( NMX-AA-051-SCFI-2001 )	37
Figura 4.5	Digestión para metales disueltos ( NMX-051-SCFI-2001 )	37

Figura 4.6	Digestión para metales suspendidos ( NMX-051-SCFI-2001 )	38
Figura 4.7	Curva de calibración para plomo	39
Figura 4.8	Curva de calibración para cadmio	39
Figura 5.1	Concentraciones de plomo en agua vs. normatividad nacional	43
Figura 5.2	Concentraciones de cadmio en agua vs. normas nacionales	43
Figura 5.3	Concentraciones de plomo en el suelo vs. normatividad nacional e internacional	45
Figura 5.4	Concentraciones de cadmio en el suelo vs. normatividad nacional e internacional	45
Figura 5.5	Lugar donde hay huellas de la presencia de un homo y ausencia de vegetación, muestra 2 de suelo	46
Figura 5.6	Costado de la nave industrial con rocas fundidas con metal y escorias depositadas en el suelo y acercamiento	47
Figura 5.7	Roca aleada con metal encontrada en el predio de la nave industrial	47
Figura 5.8	Ubicación de la muestra 5 en el predio donde se encuentran los residuos de cajas de baterías y su acercamiento	49
Figura 5.9	Tipo de síntomas y nivel de intoxicación que presenta la población encuestada	52
Figura 6.1	Esquema de instalación para el tratamiento electrocinético	54
Figura 6.2	Tratamiento electrocinético de suelos	55
Figura 6.3	Diagrama del proceso de reducción / oxidación química	56
Figura 6.4	Símbolos de identificación para transporte de las baterías ácido-plomo	60



## INTRODUCCIÓN

Antes de que se estableciera una normatividad para residuos industriales estos se enterraban en terrenos abandonados sin un tratamiento adecuado previo a su disposición, lo cual ha ocasionado la existencia de muchos sitios contaminados con metales.

Actualmente, terminando el ciclo de vida de los residuos industriales, estos se desechan en sitios tales como rellenos sanitarios, basureros, en confinamientos controlados, o se regresan a la industria para darles el tratamiento adecuado antes de disponerlos. Los acumuladores utilizados en las máquinas automáticas o cualquier otra, requieren del tratamiento adecuado antes de reutilizarlos o de disponerlos ya que contienen materia prima para otros procesos. (OCDE, 1993)

La contaminación por metales pesados en agua, suelo o intoxicación en humanos es causada generalmente por industrias cercanas que manejan metales, soldaduras, acumuladores, o talleres pequeños que generan desechos en sus procesos; como son pigmentos, soldaduras, escorias. (New Grolier 1984, USEPA julio 2001)

El plomo es uno de los elementos más tóxicos y persistentes en el ambiente, la exposición crónica a éste o en altas concentraciones genera efectos perjudiciales en los ecosistemas, así como problemas de desarrollo, de reproducción y nerviosos en mamíferos, aves, peces y en casos severos, ocasiona hasta la muerte. Este metal se bioacumula en los tejidos de los organismos provocando toxicidad secundaria en humanos y animales de los niveles superiores de la cadena alimenticia. (USEPA, julio 2001)

Cuando la concentración de plomo rebasa los límites permisibles de las normas de salud y del ambiente, es necesario plantear estrategias como medidas de precaución, y establecer técnicas para un tratamiento adecuado que se puedan aplicar al sitio contaminado, mitigando los daños a los seres humanos y los ambientales.

Tal es el caso de una industria fundidora de metales que laboró durante muchos años en Chapa de Mota, Estado de México, sin embargo dejó residuos de baterías ácido-plomo y escoria dispuestos de forma inadecuada en varios sitios del municipio. Esta situación puede originar efectos negativos en la salud de las personas que laboran en este tipo de industrias, a población y fauna que radica cerca de estos sitios, así como la contaminación del suelo y cuerpos de agua.

El objetivo de este trabajo es evaluar los sitios contaminados por residuos de la industria mencionada, analizando las concentraciones de plomo y cadmio presentes en el suelo, agua y las características orográficas e hidrogeológicas del sitio, para determinar el grado de afectación.

En este documento se describen las aplicaciones del plomo, puntualizando en las características de los acumuladores, haciendo referencia a la normatividad existente para este metal en distintos medios, así como sus efectos en la salud. También se realiza el muestreo y el análisis de plomo así como de cadmio en el sitio de estudio utilizando la metodología establecida por diferentes organismos, para posteriormente observar el comportamiento de estos metales en el ambiente. Se plantean los tratamientos de saneamiento para el área contaminada, así como las recomendaciones para el manejo de las baterías ácido-plomo en la industria.



## HIPÓTESIS

- De acuerdo con la información consultada, los constituyentes de las baterías ácido-plomo que pueden encontrarse en el sitio en donde se ubicó la industria son: plomo, cadmio, arsénico, antimonio y alto contenido de  $\text{SO}_4$  entre otros, además de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que posiblemente se haya derramado de las baterías.
- Los residuos como las cajas de las baterías, que se abandonaron en distintos predios de Chapa de Mota, pudieran contener compuestos de plomo o cadmio que se estén lixiviando al suelo y dispersando al ambiente.
- El viento y la lluvia son factores que pueden estar influyendo en la dispersión de la contaminación tanto de la presa como de los sitios aledaños.

## OBJETIVOS

- Evaluar los niveles de plomo y cadmio presentes en suelo y agua, para conocer el grado de afectación al ecosistema y a la salud de la población, comparándolas con los límites permisibles de las normas correspondientes y auxiliándose con encuestas dirigidas a la población.
- Definir el área de afectación de la contaminación por plomo y cadmio, así como el tipo de tratamiento que debe aplicarse para el saneamiento del sitio, considerando la literatura existente.

## ALCANCES

- Se muestreará suelo y agua sólo en los sitios accesibles: el predio donde se localizó la nave industrial, en el terreno con cajas de baterías ácido-plomo abandonadas en la superficie y algunos sitios cercanos a la presa Danxhó.
- El muestreo de suelo se realizará a 30 cm de profundidad en dos épocas del año.
- Se realizará una encuesta para obtener la información posible acerca de síntomas de intoxicación en la población, relacionándola con los niveles de metales existentes y la bibliografía de toxicología para que fundamente los resultados.

---

## CAPÍTULO 1 CASO DE ESTUDIO

### 1.1 SELECCIÓN DEL SITIO

A pesar de que no existe un inventario a nivel nacional de sitios de disposición clandestina de residuos industriales, se cuenta con información de casos específicos que se han restaurado sin determinar la afectación causada, como son, el municipio de Atotonilco, Estado de México con 474 ton de escoria con alto contenido de plomo, provenientes de la fundición de baterías automotrices, al igual que en la carretera Pachuca-Hidalgo (km 30) con 19,000 ton. (INE, 1997)

La industria fundidora recuperadora de metales de interés en este estudio, se instaló en Santa María, Chapa de Mota, en los años 70s, y fue clausurada después de 25 años aproximadamente debido a la denuncia civil por emitir al ambiente humos amarillentos con mal olor. El terreno donde se instaló la nave industrial actualmente se encuentra a la venta.

Las baterías ácido-plomo agotadas sirvieron como fuente importante para la recuperación de plomo, entre otros metales; desafortunadamente los residuos de éstas, además de las escorias de metal, fueron enterrados y dispuestos a la intemperie en varios terrenos no acondicionados para ello.

No se cuenta con datos de análisis previos a los residuos de cajas de baterías, que ratifiquen la ausencia de cualquier contenido de metal o sustancia tóxica en el momento de su disposición; sin embargo, conforme a la NOM-052-ECOL-1993, las cajas de baterías gastadas se clasifican como residuos peligrosos por contener metales tóxicos (plomo, cadmio, antimonio y arsénico) además de otras sustancias como el ácido sulfúrico.

Los sitios a los que se tuvo acceso fueron, el predio donde se instaló la nave industrial, que actualmente presenta zonas en las que el suelo no es óptimo para el crecimiento de vegetación y se encuentran totalmente áridas, y un terreno aproximadamente 3 km al sur del anterior, donde se encuentran depositados a la intemperie residuos de cajas de baterías.

Ninguno de los dos sitios mencionados cuenta con señalización que prohíba el paso a éstos, o que indique la presencia de residuos peligrosos en los terrenos. Entre los residuos y la intemperie, no existe ningún tipo de protección; por lo que, están expuestos al viento, a la lluvia, con riesgo a dispersarse y contaminar sitios aledaños, cuerpos de agua cercanos y a la población de Chapa de Mota.

El artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos menciona que *"toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar"*; razón por la cual es necesario analizar los sitios cercanos a asentamientos humanos verificando que se encuentren limpios y aquellos contaminados deben ser remediados independientemente de su valor y uso de suelo, debido a que son parte del patrimonio nacional.

Conforme al artículo 135 de la LGEEPA Ley General para el Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental, se requiere un permiso y autorización para la disposición final de sustancias tóxicas. Además de que reúnan las condiciones necesarias para evitar o prevenir *"la contaminación del suelo; alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos; alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación, riesgos y problemas de salud"* como lo establece el artículo 136 de

la misma. No se aplicó ninguno de los dos artículos mencionados debido a que esta ley entró en vigor hasta marzo de 1988.

Por otro lado, los residuos industriales continúan depositados en los terrenos, razón por la cual se deben aplicar los siguientes artículos de la LGEEPA:

- Artículo 88.- *"Para el aprovechamiento sustentable del agua, los ecosistemas acuáticos y para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos, áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua."*
- Artículo 98.- *"Aplicar las medidas necesarias para prevenir o reducir su erosión, deterioro de las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo y la pérdida duradera de la vegetación natural, para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo",*
- Artículo 134.- *"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, aplicable"*
- Artículo 139.- *"Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga esta Ley y la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría",*
- Artículo 170.- *"Cuando exista riesgo inminente de desequilibrio ecológico, de daño o deterioro grave a los recursos naturales, casos de contaminación con repercusiones peligrosas para los ecosistemas, sus componentes o para la salud pública, la Secretaría, fundada y motivadamente, podrá ordenar la neutralización o cualquier acción análoga que impida que materiales o residuos peligrosos generen los efectos previstos."*

Según la Ley forestal, los sitios de estudio en Chapa de Mota entran en la categoría de terrenos de aptitud preferentemente forestal, por lo que se aplica el artículo 1o, *"regular y fomentar la conservación, protección, restauración, aprovechamiento, manejo, cultivo y producción de los recursos forestales del país, a fin de propiciar el desarrollo sustentable y con propósito de proteger las cuencas y cauces de los ríos y los sistemas de drenaje natural, así como prevenir y controlar la erosión de los suelos y procurar su restauración."*

Las fracciones VI y VII del artículo 68 del reglamento interior de la SEMARNAT, cuentan con atribuciones para formular programas de identificación, evaluación y restauración de sitios contaminados, por lo tanto cuando ocurren situaciones de esta naturaleza la PROFEPA ordena al responsable efectuar:

- Un estudio de evaluación de daños ambientales, incluyendo todos los componentes que fueron afectados, así como una estimación sobre el grado de afectación, concordando con los alcances establecidos.
- Propuesta de restauración, que debe contener la tecnología que piensa aplicarse, los niveles de limpieza propuestos, las áreas a tratar y el tiempo necesario para cada una de las fases de restauración.
- Investigación de la causa que originó el accidente.

Con el propósito de determinar la presencia de sustancias tóxicas que pueden afectar negativamente al ambiente y a la salud de la población, es necesario conocer las características de los sitios a los que se tuvo acceso, así como de los contaminantes que se encuentran en éstos.

En la figura 1.1 se presenta la ubicación y las características del municipio de Chapa de Mota, Estado de México.

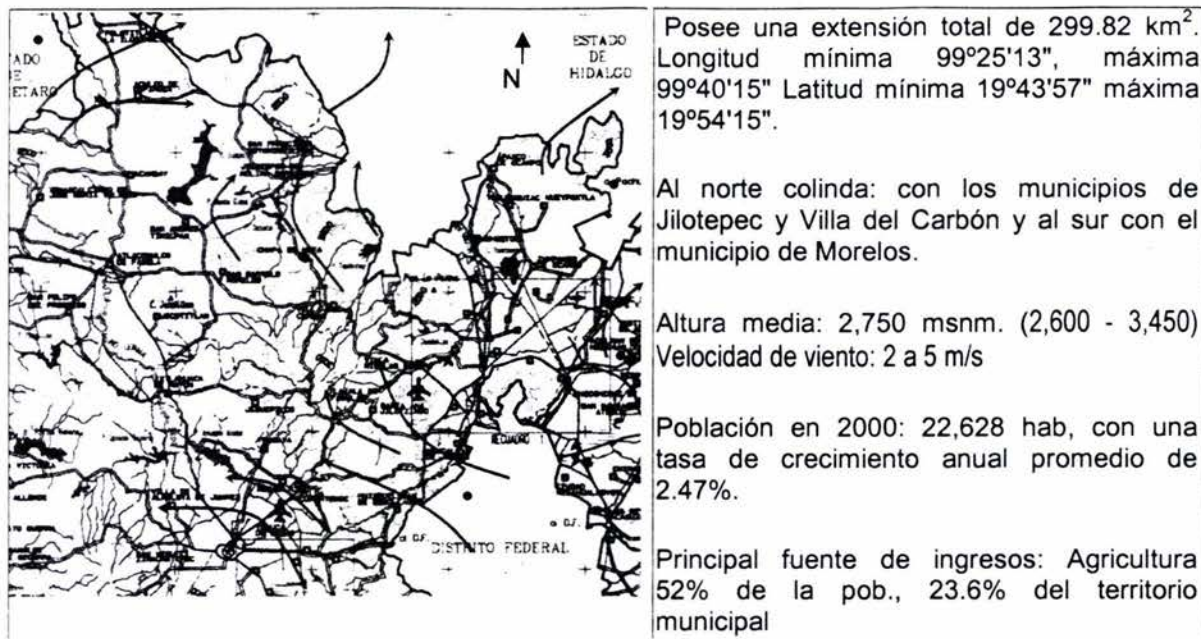


Figura 1.1 Ubicación de Chapa de Mota, Estado de México (INEGI 2002)

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE CHAPA DE MOTA

### 1.2.1 Clima

La temperatura anual varía de 14 a 20 °C, la precipitación pluvial media anual varía de 1000 mm a 1200 mm, Chapa de Mota tiene clima húmedo semifrío con heladas de 60 a 80 días. (INEGI, 2002)

No se cuenta con información de dirección de viento de Chapa de Mota, por lo que se toman como referencia los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas: Tacubaya, Toluca, Pachuca, Querétaro y Acolman, que tienen condiciones similares a Chapa de Mota en altitud y clima. Los datos de 1940 a 1993 indican que la dirección de viento predominante de esta zona es hacia el norte, aunque el movimiento detallado de éste se indica con líneas rojas en la figura 1.1. (CNA-SEMARNAP 1981-1993, INEGI 1988)

### 1.2.2 Topografía

Las cadenas montañosas ubicadas en el municipio en dirección de Villa del Carbón, Morelos y Timilpan son: Las Ánimas, Chapa el Viejo, Piedras Coloradas, Las Mesas, Yandeni, Bodenqui, Honti, Las Palomas (altura de 3,450 msnm), La Campana, Docuay y Tifini. En dirección a Tepeji del Río y Jilotepec se encuentran los cerros: Ojo de Agua, Los Baños, Fresno, Cerro Verde, Las Pilas, Paneté, El Campamento, El Coyote y El Castillo. Estas dos cadenas de montañas dan lugar a un prolongado valle, entre ellas las dos secciones que pertenecen a la Sierra Madre Occidental. (INEGI, 2002)

### 1.2.3 Edafología

En este municipio se encuentran los siguientes tipos de suelo: Phaeozem háplico que cubre el 50% de la superficie municipal, Luvisol crómico 7%; vertisol eútrico 20% y planosol eútrico 3%, que son fértiles, aptos para la agricultura y ganadería, además el 20% de andosol mólico (INEGI, 2002) En la tabla 1.1 se pueden apreciar las características de los diferentes tipos de suelos presentes en el municipio de Chapa de Mota.

Tabla 1.1 Tipos de suelo en Chapa de Mota y sus características

Tipo	Características
Vertisol	Suelos muy arcillosos, con grietas anchas y profundas cuando están secos; si se encuentran húmedos son pegajosos; su drenaje es deficiente. Color negro o gris, baja permeabilidad
Feozem	Suelo con superficie oscura, de consistencia suave, rico en materia orgánica y nutrientes. Presenta en el subsuelo una capa de arcilla, la susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta.
Andosol	Suelo que se deriva de cenizas volcánicas, posee una capa superficial color negro o muy oscura, de consistencia esponjosa y muy suelta. Retiene el fósforo, limitando su absorción por las plantas. Tiene un pH ácido y es muy susceptible a la erosión. Soporta vegetación de bosque.
Luvisol	De color rojo o anaranjado procedente de la descalcificación de materiales calcáreos, en el horizonte B se produce la precipitación de minerales arcillosos
Planosol	Se encuentra sobrepuesto abruptamente a una capa de baja permeabilidad. El tipo planosol eútrico, común en este municipio, tiene una capa con alta saturación de bases. Este tipo de suelo es apto para la agricultura.

INEGI 2002

Predominan los bosques de pino al sur del municipio debido a la altura y al clima, además de oyamel, encinos, robles, madroño, ocote; entre los árboles frutales de la región se encuentran el peral, manzano, capulín, tejocote, ciruelo, durazno, nogal, chabacano, membrillo y granada. (INEGI, 2002)

El suelo del municipio presenta problemas de erosión, siendo las principales causas las lluvias torrenciales, la tala inmoderada de las áreas forestales (2% anual) y lugares áridos por naturaleza. (INEGI, 2002)

### 1.2.4 Hidrología

La presa Danxhó perteneciente al municipio de Chapa de Mota, tiene 20.6 millones de m<sup>3</sup> de capacidad, en ésta subsiste gran cantidad de fauna acuática que sirve de alimento para la población, no suministra agua potable pero está concesionada al municipio de Jilotepec para regar 4,985 ha de tierras de cultivo en otros poblados.

Asimismo, Chapa de Mota cuenta con 15 manantiales, 14 pozos profundos, un río, aptos para la cría de peces y el riego de hortalizas. Las aguas subterráneas son importantes, ya que proveen de agua potable a la cabecera municipal y a otras comunidades, los mantos acuíferos se encuentran entre las rocas basálticas, sedimentos aluviales y lacustres de la era terciaria, a una profundidad media de 160 m. (INEGI, 2002)

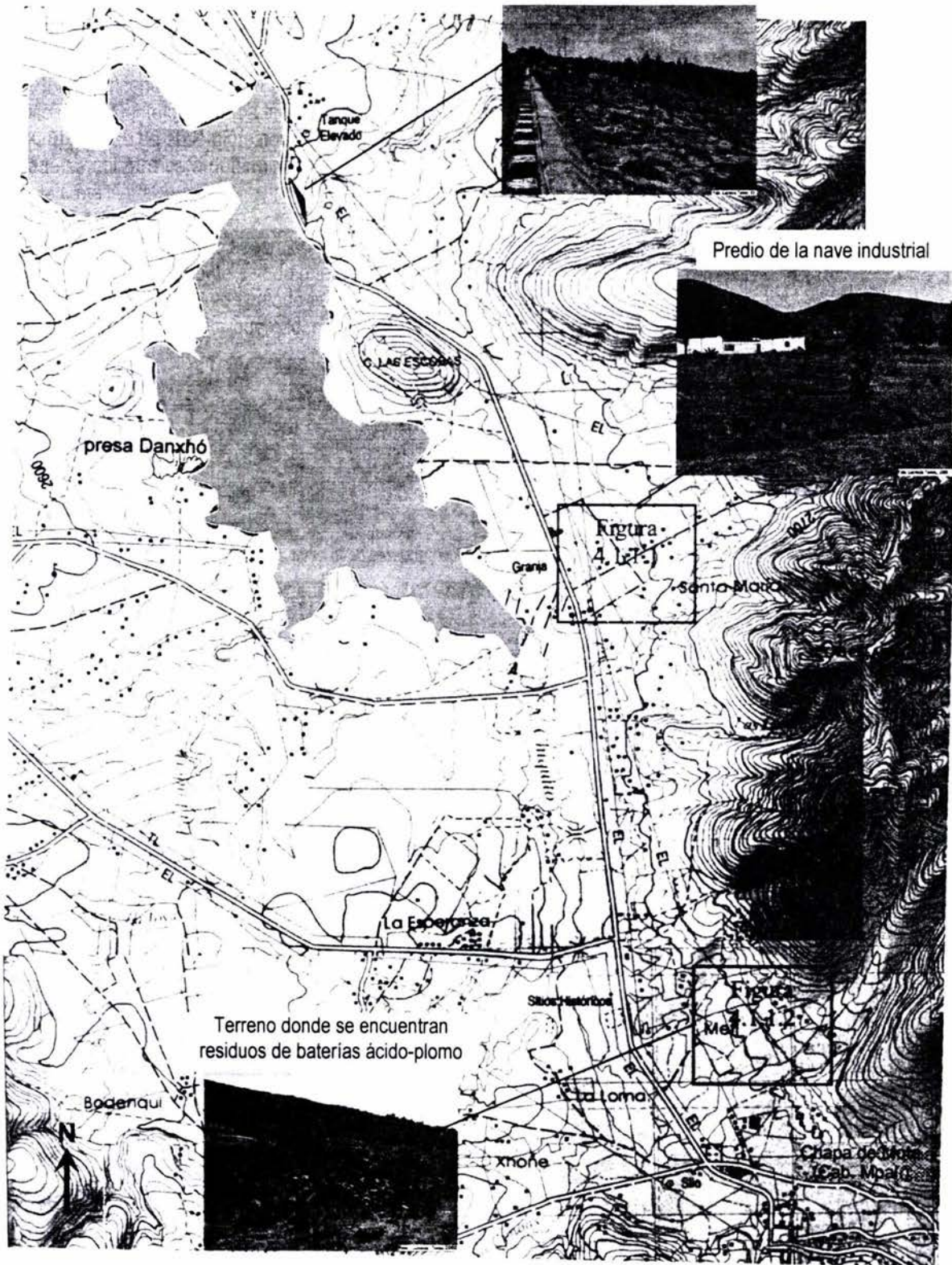
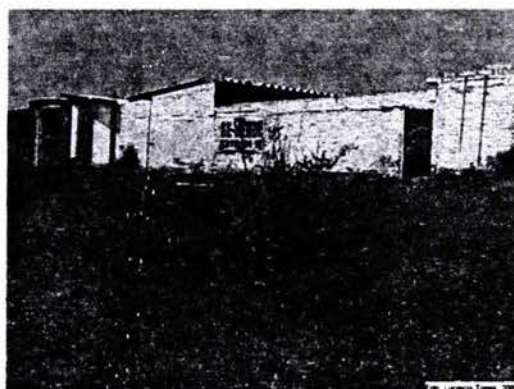


Figura 1.2 Mapa topográfico de ubicación de los sitios de estudio en Chapa de Mota 1:50,000, INEGI 2002

1.3 FOTOGRAFÍAS DEL SITIO

1.3.1 Predio de la nave industrial

El predio donde se instaló la industria fundidora se sitúa junto a la carretera de Chapa de Mota y comprende un área de aproximadamente 1 ha, en la cual en época de lluvia se forman 4 riachuelos que se dirigen hacia la carretera. Las condiciones de la nave industrial y el suelo alrededor de ésta se observan en las siguientes figuras.



Figuras 1.3, 1.4 Vista de lejos y acercamiento de la nave industrial



Figura 1.5 Paso de un riachuelo hacia la presa, ubicado a un costado de la nave



Figuras 1.6, 1.7 Zonas con escoria de metal, sin crecimiento de vegetación

### 1.3.2 Predio donde se encuentran residuos de baterías ácido-plomo

El terreno donde se encuentran depositados los residuos de baterías ácido-plomo, se encuentra al sureste de la nave industrial aproximadamente a 4 km de distancia, situado en el declive del cerro Verde como se muestra en las siguientes figuras. En la parte posterior de los residuos depositados pasa un riachuelo que se dirige a un ojo de buey como se puede observar en las figuras 1.12 y 1.13.



Figuras 1.8, 1.9 Vista de la pendiente del terreno con residuos y proporción del montículo con una persona



Figuras 1.10, 1.11 Proporción de cajas de baterías con respecto a unas llaves y vista superior del montículo hacia el centro de Chapa de Mota



Figuras 1.12, 1.13 Cauce que pasa atrás del montículo y vista posterior del montículo

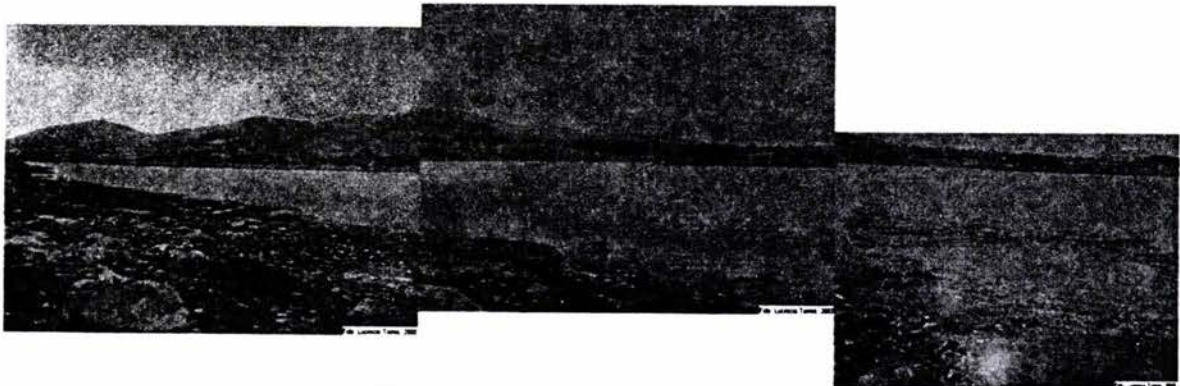


### 1.3.3 Presa Danxhó, Chapa de Mota

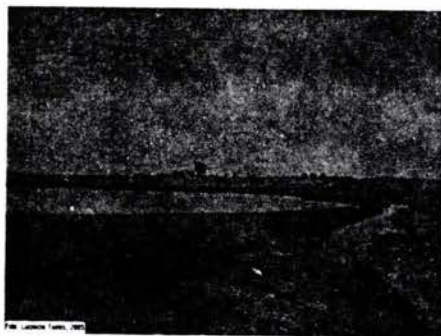
La presa Danxhó está situada pendiente abajo de la nave industrial dirección oeste, como se muestra en las siguientes figuras.



*Figuras 1.14 Panorámica de la presa*



*Figura 1.15 Orilla de la región noreste de la presa*



*Figuras 1.16, 1.17 Riachuelo que parte de la presa por el extremo norte y su salida por una compuerta*

## CAPÍTULO 2 PROPIEDADES DEL PLOMO

### 2.1 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

El plomo es un metal gris azulado, maleable, resistente a la corrosión, con un punto de fusión bajo. Se encuentra en una proporción del 0.002% de la corteza terrestre y atmósfera. (CES-IISC, 2002) Ocupando el lugar 36 en abundancia entre los elementos. (Gran Sopena, 1973) Algunas de las características del plomo se mencionan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Características del plomo como elemento

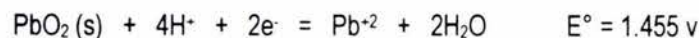
No. atómico	82
No. CAS	7439-92-1
Peso atómico	207.19
Isótopos estables	4
Isótopos radiactivos	4
Punto de fusión	327°C
Punto de ebullición	1,750°C
Densidad relativa	11.34 g/cm <sup>3</sup>
Estados de oxidación	+2 y +4
Configuración de electrones	{Xe} 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup> con 4 balances

Cotton y Wilkinson, 1978. , NSCEP-USEPA, 2001

Sus minerales más importantes son el sulfuro de plomo (PbS) también conocido como galena, la cerusita (PbCO<sub>3</sub>) y la piroformita (Pb<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl). La extracción de plomo de la galena se lleva a cabo por calcinación de la mena, pero debido a que la galena contiene normalmente otros metales, el plomo en bruto suele tener impurezas como cobre, cinc, plata y oro. Otra fuente importante de obtención de plomo son los materiales de desecho industriales, que se recuperan y funden. (López-Silva, 1979) El plomo más puro se obtiene, disolviéndolo en ácido y refinándolo electrolíticamente. (Cotton y Wilkinson, 1978)

El plomo existe en ambos estados de oxidación: +2 en forma trigonal y +4 tetraédrica. Los compuestos del plomo (+2) son predominantemente iónicos (Pb<sup>2+</sup>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), mientras que del plomo (+4) sus compuestos tienden a ser covalentes (tetraetilo de plomo, Pb(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>), así como el PbO<sub>2</sub> que es un fuerte oxidante. (Stanley, 1992)

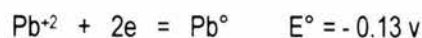
Las soluciones acuosas de Pb<sup>2+</sup> son agentes reductores fuertes:



El ión plumboso es poco soluble en agua. (Cotton y Wilkinson, 1978)



El plomo reacciona fácilmente con los halógenos y lentamente con soluciones alcalinas en frío, aunque rápidamente en caliente, formando plumbitos. Aparece frecuentemente como si fuera mucho más noble y menos reactivo de lo que indica el potencial. La escasa reactividad puede atribuirse a una elevada sobretensión para el desprendimiento de hidrógeno y en algunos casos a la existencia de capas superficiales insolubles. (Cotton y Wilkinson, 1973)



El plomo metálico reacciona con el ácido nítrico y acético, a diferencia de lo que sucede con el ácido sulfúrico y clorhídrico. En presencia de aire, reacciona lentamente con el agua formando hidróxido de plomo, que es insoluble. Los compuestos solubles de plomo son venenosos. Aunque normalmente el agua contiene sales que forman una capa en las tuberías de plomo que impiden la formación de hidróxido de plomo soluble, se sustituyó el cobre por el plomo, en las tuberías que transportan agua potable. (López-Silva, 1979)

El plomo se considera como material peligroso, ya que es un metal pesado que se acumula en los organismos y llega a ser tóxico, causando efectos nocivos a la salud. Como se muestra en la figura 2.1, el plomo se encuentra en la lista de sustancias peligrosas de la NOM-052-ECOL, además se identifica como sustancia tóxica según las NOM-004-SCT2, NOM-018-STPS y la ONU.

Los compuestos de plomo en las partículas respirables como el  $PbO_2$ , se depositan en el suelo así como en el agua, siendo asimiladas por plantas, animales y humanos. (Gots, 1991)



Figura 2.1 Elementos de identificación de riesgo del plomo

## 2.2 APLICACIONES

Marcus Vitruvius Pollio, un arquitecto e ingeniero romano del siglo I a.C., advirtió sobre los peligros del uso de tuberías de plomo para la conducción de agua, recomendando utilizar en su lugar, barro. En sus escritos mencionó el color enfermizo de la piel de trabajadores de los talleres de plomo de la época, señalando que los humos del plomo fundido destruían "el vigor de la sangre". (New Grolier, 1984.) Los romanos lo empleaban para tuberías, o aleado con estaño para techar. (Cotton y Wilkinson, 1973) Se enlistan algunos usos del plomo según USEPA, 2001.

- ❖ producción de municiones
- ❖ soldadura y cañerías
- ❖ pigmentos
- ❖ revestimiento de cables eléctricos
- ❖ debido a su elevada densidad y propiedades nucleares en escudos de protección para rayos X
- ❖ circuitos para las computadoras
- ❖ en algunas piezas de cerámica y fabricación de vidrio
- ❖ antidetonante en combustibles
- ❖ equipos militares
- ❖ pinturas y pigmentos en forma de compuestos
- ❖ producción de baterías ácido-plomo

Se puede observar en la tabla 2.2 algunas aplicaciones de los compuestos de plomo más utilizados, por ejemplo el dióxido de plomo empleado en las baterías ácido-plomo. (Cotton y Wilkinson, 1978)

La adición de tetraetilo de plomo a la gasolina incrementa el índice de octano, por lo que disminuye la probabilidad de que el combustible produzca detonaciones o daños por la ignición prematura. Los automóviles fabricados desde 1975 cuentan con catalizadores que reducen las emisiones contaminantes, sin embargo el plomo reduce significativamente la eficiencia del catalizador y aumenta la emisión de contaminantes y partículas a la atmósfera, que finalmente se alojan en los pulmones de la población. (Henry y Heinke, 1999)

Por razones de salud, en 1987 la Unión Europea limitó el uso de plomo en la gasolina, en 1991 se empezó a distribuir la gasolina sin plomo, y en 1997 se retira totalmente del mercado las que contienen este metal. (SEMARNAP, 1999)

Tabla 2.2 Compuestos de plomo y sus aplicaciones

Compuesto	Nombre	Uso
$(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$	Carbonato de plomo básico o albayalde	Pigmento blanco, desde hace 2000 años se emplea en esmaltes para cerámica(1)
$\text{PbCrO}_4$	Cromato de plomo	Polvo cristalino empleado como pigmento amarillo. El cromo rojo, amarillo naranja y amarillo limón son algunos pigmentos obtenidos del cromato de plomo.(1)
$\text{PbO}$	Monóxido de plomo o litargirio	Para hacer cristal de roca, como desecante de aceites y barnices, y para elaborar insecticidas (1)
$\text{PbO}_2$	Dióxido de plomo	Para formar la placa negativa (cátodo) de las baterías ácido-plomo
$\text{Pb}_3\text{O}_4$	Plomo rojo	Polvo cristalino escarlata, se utiliza como capa protectora en estructuras de hierro y acero(1)
$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Etanato de plomo	Sustancia cristalina blanca, agente cáustico en tintes, desecante de pinturas y barnices, y para elaborar otros compuestos de plomo(1)
$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$	Tetraetilo de plomo	Principal ingrediente del antidetonante de la gasolina para evitar detonaciones prematuras en los motores de combustión interna, considerado agente contaminante (2)
$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_4$	Tetracetato de plomo	Agente oxidante enérgico pero selectivo (3)

(1) Stanley, 1992

(2) Dreisbach, 1998

(3) Cotton y Wilkinson, 1973

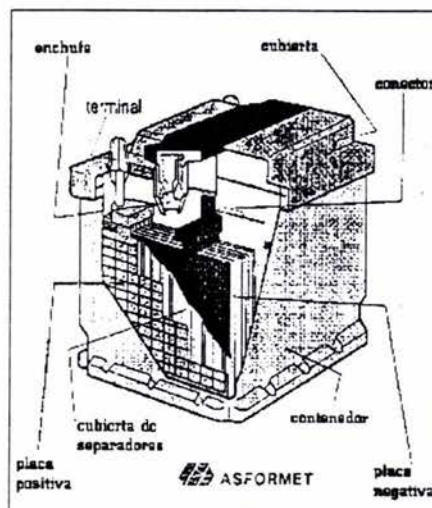
Los metales que comúnmente se encuentran aleados al plomo en procesos de manufactura son: el antimonio (en el almacenamiento de baterías), calcio y estaño (en el mantenimiento y almacenamiento de baterías), plata (para soldadura y ánodos), estroncio y estaño (como ánodos en el proceso eléctrico), telurio (pipas y hoja en las instalaciones químicas y protecciones nucleares), estaño (soldadura), y antimonio (impresión, pruebas de alta calidad). (OECD, 1993)

### 2.3 DESCRIPCIÓN DE BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO

En 1859 el físico francés Gaston Planté, descubrió que pares de electrodos de óxido de plomo y plomo metálico al ser sumergidos en un electrolito de ácido sulfúrico, generaban energía eléctrica y más tarde podían ser recargados. Una serie de mejoras técnicas realizadas por otros investigadores llevaron en 1889, a la producción comercial de acumuladores de plomo. (New Grolier, 1984)

En 1998 la fabricación de acumuladores en México se ha extendido a 827,389 miles de pesos al año en producción bruta total. (INEGI, 1999)

Un acumulador de ácido-plomo típico tiene los siguientes elementos como se observa en la figura 2.2 una serie de placas negativas (constituidas por una rejilla de plomo metálico recubierta por una pasta de dióxido de plomo  $PbO_2$ ) y positivas (de plomo metálico), colocadas consecutivamente y aisladas entre sí con separadores de placas de polietileno, PVC o papel fibroso que evita el contacto físico entre dos placas contiguas, pero que permite el libre desplazamiento de los iones en la solución del electrolito. Existen baterías con 6 a 20 pares de placas negativas y positivas intercaladas, dentro de los compartimientos del acumulador. (GTT, 2001)



CMP+L-UNEP, 1994

Figura 2.2 Corte transversal de una batería ácido-plomo

Para producir un mayor voltaje los elementos son conectados en serie a un conector de aleación de plomo y antimonio. Cuanto aumenta el número de elementos conectados mayor es el voltaje: una batería estándar de automóvil tiene 6 elementos de 12 V conectados en serie ( $2V \times 6$  elementos). (GTT, 2001)

El antimonio proporciona resistencia al plomo para los continuos ataques de ácido sulfúrico. El cadmio se utiliza como aditivo, aunque en Europa se considera, que durante la fundición resultan compuestos tóxicos volátiles. (Environment Canada, 1993)

Finalmente, el acumulador se arma y recibe un conductor iónico en que se sumergen las placas, llamado electrolito. Luego se sella la tapa de ebonita o polipropileno al igual que la caja, se inspecciona el producto para detectar eventuales pérdidas, y se le administra su primera carga. (GTT, 2001)

En los acumuladores de ácido-plomo, el electrolito es una solución que contiene del 62% al 70% de ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  (pH=0.8), el resto es agua destilada. La carga de un acumulador está determinada por la densidad de su electrolito: totalmente cargado tiene un electrolito con una densidad de 1.27 kg/dl (Environment Canada 1993)

En la tabla 2.3 se enuncian los componentes en porcentaje de una batería ácido-plomo, así como la concentración de los aditivos que sirven para aumentar la dureza del ánodo, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, control de potencial límite, reducción de mantenimiento y refuerzo interno. (Wilson, 2001) En las placas también se utilizan materiales de expansión, como sulfato de bario, negro de humo y lignina; para impedir la contracción de la placa durante su utilización (GTT, 2001). Es importante mencionar que aunque el antimonio es el de mayor concentración, no es tan tóxico como el cadmio y arsénico.

Tabla 2.3 Componentes de batería ácido-plomo

Componentes	% de peso
Plomo metálico más aditivos	17
Óxido / sulfato de plomo	50
Plástico	5
Ácido	24
Residuos (ebonita y separadores)	4
TOTAL	100
Aditivos	Concentración (%)
Cadmio	0.1 – 0.14
Antimonio	2.5 – 7.5
Arsénico	0.15
Estaño	0.1 – 0.5
Cobre	0.05

Environment Canada, 1993

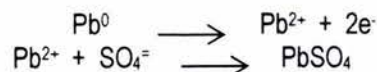
En general, las baterías pesan 17.2 kg, contienen aproximadamente 6 lt de electrolito y 9 kg de plomo, dividido equitativamente entre ánodo y cátodo. Como se observa en la tabla 2.4, el electrolito contiene partículas de metales disueltas que se han desprendido de los electrodos durante su funcionamiento. (Environment Canada, 1993)

Tabla 2.4 Concentración de metales en el electrolito de las baterías de ácido-plomo

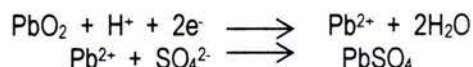
Metal	Concentración (mg/l)
Plomo partículas	60 a 240
Antimonio	20 a 175
Hierro	20 a 150
Calcio	5 a 20
Zinc	1 a 13,5
Plomo, disuelto	1 a 6
Arsénico	1 a 6
Estaño	1 a 6

Proyecto de Directrices Técnicas para el Manejo Ambientalmente racional de desechos de acumuladores ácido-plomo, GTT 2001

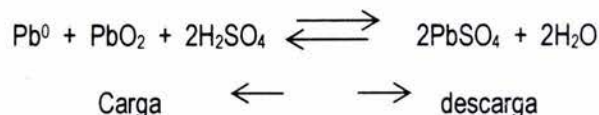
Cuando un acumulador suministra energía eléctrica a una máquina, los átomos de plomo de las placas positivas, ceden electrones y forman iones de plomo, los cuales al reaccionar con el ácido sulfúrico producen sulfato de plomo. (UNEP, 1983)



Mientras que las reacciones en las placas negativas de dióxido de plomo, son:



El electrolito proporciona los iones sulfato para ambas reacciones y actúa como puente químico entre ellos. Por cada electrón generado en el ánodo corresponde un electrón consumido en el cátodo. La reacción completa se observa en esta ecuación. (GTT, 2001)



En la producción de estas reacciones, la concentración de ácido sulfúrico disminuye en la solución del electrolito, ya que los iones sulfato se incorporan al sulfato de plomo que se está formando en ambos electrodos. Al reducirse la concentración de ácido sulfúrico en el electrolito disminuye la densidad de la solución, lo que hace posible determinar el nivel de carga de un acumulador. Al continuar el proceso, los materiales activos se van consumiendo y la velocidad de la reacción se reduce hasta que el acumulador ya no está en condiciones de proporcionar energía eléctrica. La mayor parte del dióxido de plomo y del plomo metálico se transforma en sulfato de plomo. (GTT, 2001)

El acumulador tiene un período de tiempo en que puede ser recargado y mantener su carga. Cuando esto ya no ocurre, la vida útil llega a su fin y se convierte en un "acumulador usado". La principal causa del deterioro es que se va formando un precipitado de sulfato de plomo sobre las placas del acumulador y con el tiempo los iones ya no pueden migrar desde o hacia las placas y, en consecuencia, no se producen más reacciones para generar energía eléctrica. (Environment Canada, 1993)

En condiciones ideales, un acumulador de automóvil puede durar hasta seis años, pero varios factores contribuyen a reducir esa vida útil óptima: (GTT, 2001)

- Proceso de carga incompleto
- Utilización del acumulador durante un período muy prolongado entre cargas
- Clima cálido: incrementa el proceso de sulfatación
- Gran demanda de energía: cuanto más se usa el acumulador, menor es su duración
- Bajo nivel del electrolito: las placas expuestas al aire se sulfatan de inmediato

Debido a esos factores, la vida útil del acumulador varía de 6 a 48 meses; aunque sólo el 30% de los acumuladores culmina los 48 meses. Recientemente, se han desarrollado baterías de plomo para aplicaciones especiales con una vida útil entre 50 y 70 años. Cuando la vida útil de un acumulador ha finalizado, debe considerarse y manejarse como desecho peligroso, para prevenir daños a la salud humana o al ambiente. (GTT, 2001)

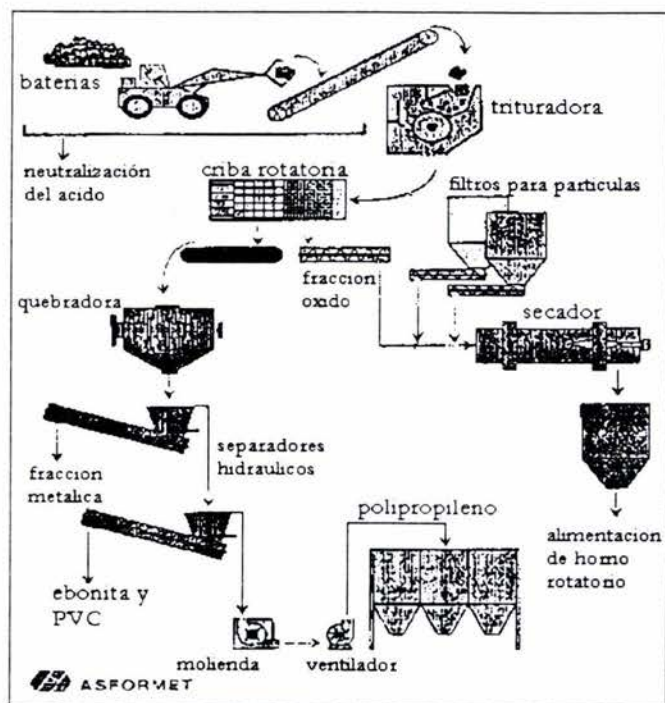
## 2.4 RECUPERACIÓN DE PLOMO MEDIANTE EL RECICLAJE DE BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO

El plomo reciclado o secundario constituye aproximadamente el 60% de todo el plomo producido y se predice que en el 2005 será del 65%. Por esta razón muchos industriales se interesaron en reciclar las baterías gastadas recuperando principalmente el plomo entre otros metales. (CMP+L-UNEP, 1994)

Los componentes de la batería se separan y reciclan fácilmente, o son dispuestos de forma segura. Con la tecnología se puede no solo neutralizar los ácidos, también es posible tratar el azufre para usarlo como fertilizante o productos detergentes. (Staley, 1996)

Para esquematizar el proceso que utilizó la industria en estudio dedicada a recuperar metales como el plomo y que utilizó acumuladores usados como materia prima, en la figura 2.3 se muestran las entradas y salidas de material del proceso de reciclaje de baterías en forma general.

El plomo de las placas y el insumo básico para obtener el plomo (scrap) son llevados a los talleres para la reconstrucción de baterías o a las industrias fundidoras (Heredia, 2002)



UNEP, 1983

Figura 2.3 Planta típica de reciclaje de baterías ácido-plomo (Planta Metaleurop en Villafrance)

Es imprescindible drenar los acumuladores antes de su incorporación al proceso de reciclaje, ya que el electrolito altera el proceso de fusión-reducción del plomo. (GTT, 2001)

Las placas de plomo, las rejillas, los conectores y los bornes, se separan de la materia orgánica, como son las cajas de PVC o de ebonita, separadores de placas de PVC, etc. Mediante la trituración, tamizado y filtrado bajo una corriente de agua o en seco, los óxidos y sulfatos de plomo se separan de los demás materiales, para posteriormente introducirlos al horno, o someterlos a técnicas hidrometalúrgicas. (GTT 2001)



En la tabla 2.5 se presentan las diferentes fases del proceso de reciclaje de baterías, generando residuos, escorias principalmente. Estas fases difieren dependiendo de la tecnología empleada.

Tabla 2.5 Fases del proceso de reciclaje

Fase	Descripción	Residuos
<b>Separación</b>	Separación de materiales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aleaciones de plomo, antimonio, arsénico y estaño</li> <li>• Plásticos (PVC, polipropileno, ebonita)</li> <li>• Líquidos efluentes (ácidos de la batería y óxidos de plomo)</li> </ul>	PVC y ebonita, ácido sulfúrico, sales de plomo
<b>Fundición</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fundición de fracciones sólidas</li> <li>• Goma, PVC, polipropileno, papel, etc.</li> <li>• Fuentes de plomo (escorias), hierro, arsénico, antimonio y estaño</li> </ul>	Escorias (As), escoria de silicato, humo (Pb, PbO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> )
<b>Refinación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refundición del plomo</li> <li>• Producir aleaciones de antimonio, estaño, arsénico y cobre, con plomo</li> <li>• Remoción de cobre y antimonio para producir plomo suave</li> <li>• Remoción de arsénico y cobre para producir plomo duro</li> </ul>	Escorias (Pb, As, Sb), humo (As, Pb)

CMP+L-UNEP, 1994

Cabe mencionar que el electrolito no sólo es una solución altamente corrosiva, también es un vehículo para el plomo disuelto y las partículas de plomo. Por lo tanto, si esa solución se derrama en una zona no protegida puede contaminar el suelo al secarse, convirtiéndose en fuente de partículas de plomo o lesionar a los trabajadores. (GTT, 2001)

Existen muchas industrias que no cuentan con equipo para el control de emisiones ni tienen los recursos para darle el tratamiento correspondiente a los residuos peligrosos, como: escoria, lodos, ácido sulfúrico. Por lo que, entierran sus residuos o no los disponen adecuadamente, como es el caso de la industria que se instaló en Chapa de Mota, Estado de México. (Heredia, 2002)

---

## CAPITULO 3 TOXICIDAD

### 3.1 ABSORCIÓN Y FUENTES PRINCIPALES DE EXPOSICIÓN AL PLOMO

El plomo es un contaminante común, bioacumulable que persiste en los organismos vivos. Además de ser un riesgo a la salud, la toxicidad del plomo produce efectos perjudiciales en ecosistemas. (USEPA, 2001) A causa del riesgo de envenenamiento, recientemente se creó la normatividad en México para eliminar el uso de plomo en productos para el hogar, como pigmentos, soldaduras, tuberías, etc. (NOM-003, 003, 007, 009-SSA1-1993)

Lo que hace tóxicos a los metales pesados es principalmente, la concentración en la que se encuentra, el periodo de exposición al metal y, más importante aún, el estado en que se presenta. (Oyarzun e Higuera, 2000)

El plomo es letal a la vida acuática particularmente en agua con poca dureza, se acumula en los tejidos de los organismos produciendo toxicidad secundaria en la cadena trófica. (USEPA, 2001)

Las partículas de plomo permanecen en la atmósfera aproximadamente entre 7 y 30 días, periodo en el cual ocurre la inhalación de partículas respirables del orden de 5 a 10 $\mu$ m como, las provenientes de la fundición del plomo generalmente, sulfatos, óxido de plomo. (WHO, 1989).

En humanos, una vez que el metal entra a los pulmones, se retiene del 30 al 50% y el resto se incorpora rápidamente a otras partes del cuerpo por medio de la sangre El tiempo de vida media biológica del plomo en sangre varía considerablemente entre 20 a 40 días y en huesos puede permanecer por varios años. (WHO, 1989) (USEPA, 2001).

Según experimentos realizados en adultos que ingirieron plomo, la cantidad que presentaron en la sangre fue solamente 6% del total tomado, en el caso de adultos que no habían comido por un día la cantidad fue entre el 60 y 80% del plomo ingerido y en niños la cantidad de plomo que se introduce en la sangre es mucho mayor. (USEPA, 2001)

También se absorbe el plomo por medio de la piel, en caso de existir alguna herida o raspón más fácilmente se introduce al organismo. Una vez que el plomo ha pasado a la sangre, viaja a través de los órganos blandos (riñón, hígado, pulmones, cerebro, bazo, músculos, corazón), después de varias semanas migra hasta dientes y huesos debido a que, el plomo puede sustituir al calcio y depositarse en los tejidos óseos por la semejanza de sus características ( $Pb^{2+}$ : 0.84 Å;  $Ca^{2+}$ : 0.99 Å), por lo tanto, la absorción de plomo decrece con el aumento de calcio en la dieta. (ATSDR, 2001) (Oyarzun e Higuera, 2000)

En adultos la migración del plomo hasta dientes y huesos es de 94% del plomo total en el organismo y en el caso de los niños migra el 73% del mismo, para que en un par de semanas cerca del 99% del plomo se deseché por medio de la orina y heces fecales, sin embargo, en niños sólo se desecha el 32%. Bajo circunstancias como el embarazo, después de la fractura de un hueso y en edad avanzada, parte del plomo alojado en huesos puede reintroducirse en la sangre y en los órganos blandos. (ATSDR, 2001)

Como se observa en la tabla 3.1, otra ruta principal de absorción de plomo es por el tracto intestinal; la cantidad que llega a entrar al cuerpo depende de la cantidad de alimento ingerido la última vez, de la edad del individuo y de la capacidad de disolución de las partículas de plomo por los jugos gástricos. (USEPA, 2001)

La población susceptible a la contaminación por plomo es la siguiente: (GTT, 2001)

- ❖ Trabajadores de industrias de baterías ácido-plomo formal e informal
- ❖ Residentes en zonas cercanas a fuentes industriales donde se trabaja con plomo
- ❖ Habitantes de regiones urbanas con alto desarrollo industrial
- ❖ Mujeres embarazadas
- ❖ Niños menores de 6 años
- ❖ Personas con enfermedades sanguíneas (anemia) o neurológicas
- ❖ Personas con deficiencias nutricionales, principalmente de hierro, calcio, fósforo y proteínas.

Tabla 3.1 Fuentes principales de plomo y ruta de exposición

INGESTIÓN	INHALACIÓN	CONTACTO
Comer alimentos cosechados en tierra que contiene plomo, o que se ha guardado en latas o en cerámica vidriada que contiene plomo	Inhalar partículas con plomo en áreas urbanas o Industriales: polvos provenientes del pulido de metales, humo de cigarro, inhalar grafito de los lápices	Trabajar en áreas donde se utiliza el plomo. Tener contacto directo con tetraetilo de plomo
Ingerir astillas de la pintura base-plomo que es especialmente peligrosa a infantes y jóvenes.	Quemar combustibles fósiles con plomo. Trabajar o vivir cerca de fundidoras de plomo o de refinación industrial	Realizar actividades culturales donde se utilice plomo, como la escultura, cerámica vidriada
Beber agua que ha atravesado tuberías soldadas con plomo	Vivir cerca o trabajar en la industria metalúrgica, así como de la producción de la mena	Estar en áreas donde la pintura contenga plomo y ésta se desprenda fácilmente
Ingerir tetraetilo de plomo	Encontrarse cerca de la manufactura de baterías ácido-plomo, de la fabricación de vidrio con plomo, incineradoras de residuos o recicladoras de metales	Utilizar cosméticos o tratamientos para el cabello que tengan componentes de este metal como el acetato de plomo

UNEP, 1983  
USEPA, 2001

Bajo condiciones de exposición continua al plomo como en trabajadores de industrias donde se maneja este metal, no todo el plomo que entra al cuerpo es eliminado y de esto puede resultar la acumulación de plomo en ciertos órganos o huesos. La proporción de captación de plomo disminuye con el decremento de dosis y una dieta saludable. (ATSDR, 2001)

Los niños se introducen las manos y cualquier cosa en la boca, por lo que pueden ingerir polvo o virutas de pintura que contienen plomo, debido a que esta última tiene un sabor dulce que motiva a los niños a comerla, también algunos juguetes o muñecos siguen conteniendo este metal. (USEPA, 2001) Aún, pedacitos de pintura que no se ven, pueden desprenderse de las ventanas, puertas, paredes y crear partículas con plomo que son adsorbidas por los organismos. (Filchak, 1997)

## 3.2 PRESENCIA DE PLOMO Y LÍMITES PERMISIBLES

### 3.2.1 En humanos

El plomo puede medirse en dientes, huesos y pulmones por medio de técnicas de rayos "X" especiales tomados en dedos, rodillas o codos. (ATSDR, 2001) También se determina administrando edetato disódico cálcico para observar la función renal del individuo y la cantidad de Pb urinario, después de la administración de edetato disódico cálcico. (Dreisbach, 1998) Estos métodos no son cualitativos y no determinan el grado de intoxicación.

La intoxicación por plomo se puede determinar por medio de exámenes de laboratorio de sangre, orina, líquido cefalorraquídeo (LCR), así como a través de estudios radiológicos como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Datos de laboratorio que sugieren intoxicación por plomo

		(µg de plomo / ml sangre)	
<b>Sangre</b>	Contenido menor de 13g de hemoglobina en 100ml de sangre	>5µg/100ml.- Hay exposición al Pb >25µg/100ml.- Necesaria búsqueda y eliminación de la fuente >80µg/100ml.-Existencia de riesgo de encefalopatía >100µg/100ml.- Urgencia	
<b>Orina</b>	Excreción de plomo urinario >0.08 mg/día ó excreción de CP urinaria >0.15 mg/día. CP urinaria > 0.8mg/lt.-adultos con envenenamiento síntomas	<b>Síntomas de Envenenamiento:</b> <i>Glucosuria</i> .- glucosa en orina >200 mg/24 hr <i>Hematuria</i> .- emisión de orina con sangre <i>Proteinuria</i> .- proteínas en la orina	<b>Concentración en orina de ácido DALA:</b> > 6 mg/lt.- han ocurrido algunos efectos del plomo. >19 mg/lt de orina.- síntomas de envenenamiento
<b>LCR</b>	Aumento del número de elementos celulares en el LCR (pleocitosis), elevación de las proteínas y aumento en la presión del LCR aprox. En 1/3 de los niños que presentan envenenamiento por plomo		
<b>Radiológicos</b>	En el caso de envenenamiento crónico de niños (2-5 años) se observan bandas transversales de densidad aumentada en radiografía de los cartilagos de crecimiento Cuando han existido episodios repetidos de envenenamiento se observan bandas múltiples		

PE.- porfirina eritrocitaria

(Dreisbach, 1998)

CP.- coproporfirina: tetrametil-tetrapropionil porfirina; es un producto de la descomposición de la bilirubina

LCR.- líquido cefalorraquídeo

DALA.-ácido delta aminolevulinico

Las concentraciones de plomo permisibles en la sangre de acuerdo a las diferentes Agencias de Estados Unidos de América y de la Organización Mundial de la Salud, se encuentran en la tabla 3.3

Los prestadores de servicios de salud e investigadores y laboratorios deben notificar a las autoridades sanitarias todos los casos que presenten niveles de plomo en sangre por arriba de los establecidos. (NOM-199-SSA-2000)

Tabla 3.3 Valores permisibles de plomo en sangre en humanos

	Referencia	Concentración plomo en sangre
Niños, mujeres embarazadas y en periodo de lactancia	NOM-199-SSA1-2000 Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC- U.S.A.) Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR- U.S.A.)	10 µg/dl
El resto de la población no expuesta ocupacionalmente	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA) Administración de Drogas y Alimentos de E.U.A. (USFDA) Organización Mundial de la Salud (WHO)	25 µg/dl.
Población expuesta ocupacionalmente		<b>Concentración de plomo en el medio</b>
	OSHA, E.U.A., 1981 citado por GTT, 2001	LVU 0.2mg/m <sup>3</sup>
Exposición a humo y polvo de plomo inorgánico durante 15 min	ACGIH, E.U.A., 1983 citado por GTT, 2001	LECP 0.45mg/m <sup>3</sup>
Valor medio de humos y polvo para plomo inorgánico	ACGIH, E.U.A., 1984 citado por GTT, 2001 NOM-010-STPS-1999	LVU-PPT 0.15mg/m <sup>3</sup>
Valor medio para plomo orgánico	ACGIH, E.U.A. citado por GTT, 2001 WHO 1980 citado por GTT 2001	LVU-PPT 0.10mg/m <sup>3</sup> LVU-PPT Variable de 30-60µg/m <sup>3</sup> , 60µg/m <sup>3</sup> para hombres y 40 µg/m <sup>3</sup> para mujeres, en edad fértil
En alimentos	FAO / WHO, 1972 y 1978	3 mg /persona/ semana

LVU.- Límite del valor umbral

PPT.- Promedio ponderado en función del tiempo

LECP.-Límite de exposición a corto plazo

### 3.2.2 En animales

Los organismos bivalvos (p.ej., mejillones, ostras) acumulan los metales pesados, pudiendo pasar éstos directamente al ser humano por ingestión. De ahí que se deban tomar precauciones extremas en el consumo de éstos en zonas sujetas a niveles altos de contaminación. (Oyarzun e Higuera, 2000).

En contraste con la ausencia de evidencia de carcinogénesis en humanos a causa del plomo, existe evidencia experimental sustancial inducido en animales, como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Efectos de varias fuentes de plomo en animales

	Carcinogénico	Tumores en:	Intoxicaciones
Plomo		Tumor en riñón de ratas de campo y renales en ratas de laboratorio (1) (2)	
Acetato de plomo	En animales (2)	Aves acuáticas en riñones, (3) pulmones, hígado, pituitaria, prostata, glándulas renales, gliomas cerebrales.	Pollos (dosis 320 mg/l) debilidad, anorexia, anemia; (dosis 640 mg/l) muerte en 34 días (4)
Óxido de plomo		Pulmones de aves Acuáticas (3)	
Municiones de plomo, pintura usada en abrevaderos y en drenajes industriales			Aves acuáticas (3), muerte de murciélagos y simios de zoológico (5)
Dosis subletales de metales pesados	<b>Problemas fisiológicos y metabólicos en organismos acuáticos (6).-</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios histológicos o morfológicos en los tejidos.</li> <li>• Cambios en la fisiología como detención del crecimiento y desarrollo, torpeza para nadar.</li> <li>• Cambios en la bioquímica del organismo, tales como en la actividad enzimática, y química de la sangre.</li> <li>• Trastornos del comportamiento.</li> <li>• Cambios en la reproducción</li> </ul>		

(1) Kilham et al 1962

(2) ATSDR 2001

(3) Rosiles, et al, 1996.

(4) Vengris y Mare 1974 citada por WHO 1989

(5) Zook et al 1972

(6) Oyarzun e Higuera, 2000

En los últimos años las palomas, en especial la *Columba livia*, se han utilizado como indicador biológico de la contaminación por metales pesados, porque dicha especie no migra y continuamente está expuesta al plomo en el aire de las ciudades. (Rosiles, 1996)

Algunos animales regulan las concentraciones de metales presentes en sus tejidos, excretándolos, siempre y cuando se superen las dosis requeridas por su organismo. Los metales que no son requeridos por el organismo de los animales tales como el mercurio o el cadmio son excretados con mayor dificultad. (Oyarzun e Higuera, 2000)

En la tabla 3.5 se exponen las concentraciones de metales que son tóxicas en algunos animales.

Tabla 3.5 Concentraciones letales de metales en animales

Animal	Concentración y dosis letal
Rata	DL 11000 mg/kg, oral (acetato de plomo) (1)
Perro	DL 2000-3000 mg/kg, oral (sulfato de plomo) (1)
Pollo	DL <sub>50</sub> 450mg/kg oral (arseniato de plomo) (1)
Trucha arcoiris	CL <sub>50</sub> 1.17 mg/l, (96 hr) (nitrato de plomo) (2)
Variedades de peces	CL <sub>50</sub> 1-27 mg/l (96 hr) plomo total en agua suave (2)

(1) DVGW, 1985 citado por CES-IISC, 2002

(2) WHO, 1989

### 3.2.3 En Agua

La calidad del agua se determina por la concentración de sus componentes, los efectos causados por estas sustancias y el uso que se le vaya a dar. (CNA, 1994)

Todos los metales pesados (zinc, mercurio, cadmio, plomo, etc) existen en los medios acuáticos aunque en concentraciones muy bajas y se pueden encontrar en forma de coloides, partículas sólidas en suspensión (minerales) y disueltos (cationes o iones complejos). Las formas coloidales suelen dar lugar a la formación de hidróxidos, mientras que las partículas sólidas incluyen una gran variedad de minerales. Los metales disueltos pueden a su vez ser adsorbidos o absorbidos en arcillas o hidróxidos. (Oyarzun e Higuera, 2000)

Las sales de plomo son poco solubles en agua y la presencia de otras sales reduce su disponibilidad a los organismos debido a que estas se sedimentan. Las plantas acuáticas al igual que las terrestres, así como la fauna acuática, acumulan plomo; algunas poblaciones de estas pueden verse afectadas negativamente por la alta concentración de plomo presente en el medio, sin embargo, otras se adaptan volviéndose más tolerantes a este elemento. (WHO, 1989)

En los sistemas acuáticos la concentración aumenta de la siguiente manera: (DVGW, 1985 citado por CES-IISC, 2002).

Agua < presas de los peces < peces < sedimentos

Los límites permisibles de plomo en agua potable, domiciliaria y superficial, así como para que exista vida acuática, se enlistan en la tabla 3.6

Tabla 3.6 Límites permisibles de metales en agua

Medio	Referencia	Concentración de	
		Plomo	Cadmio
Agua potable	México NOM-127-SSA1-2000	0.025 mg/l	0.005 mg/l
	EEUU (Schroeder, 1985 citado por CES-IISC, 2002)	0.05 mg/l	
	Canadá (DVGW, 1985 citado por CES-IISC, 2002)	0.05 mg/l	
	Canadá (CCME, 2002)	0.010 mg/l	
	WHO, 1984	0.005 mg/L	
Toma domiciliaria	México NOM-002-CNA-1995	0.05 mg/l	0.01 mg/l
Aguas superficiales	Canadá (DVGW, 1985 citado por CES-IISC, 2002)	0.05 mg/l	
Vida acuática	Canadá (CCME, 2002)		0.000017 mg/kg
Uso pecuario	México CNA 1993	0.1 mg/l	0.02 mg/l
Riego agrícola	México CNA 1993	5.0 mg/l	0.01 mg/l

### 3.2.4 En Aire

Las sales de plomo pueden ser transportados a grandes distancias según la velocidad del viento, su dirección y la humedad; aunque la mayor parte del plomo en la atmósfera se deposita directamente o es arrastrada por la lluvia. (CES-IISC, 2002)

Para la formulación de programas de control y evaluación de la calidad del aire principalmente, los organismos normativos establecen límites de las concentraciones de diversos contaminantes en un periodo de tiempo, conocidos como valores criterio para la calidad del aire.

- NOM-026-SSA1-1993 aplicable solamente al territorio mexicano, valor permisible =  $1.5 \mu\text{g} / \text{m}^3$  de plomo en un periodo de 3 meses promedio aritmético, como protección a la salud de la población susceptible. Esta norma concuerda con las siguientes normas internacionales:  
OMS Lead Standard  
40 CFR PART 50-National Primary and Secondary Air Quality Standards U.S.
- USEPA (1986)  $1.5 \mu\text{g} / \text{m}^3$  de plomo en un promedio de 3 meses
- La OSHA establece que el aire de un lugar de trabajo no debe excederse de  $50 \mu\text{g} / \text{m}^3$  de plomo en 8 hr, y si el trabajador presenta  $50 \mu\text{g} / \text{dl}$  de plomo en sangre, entonces debe removerse de esa área.

### 3.2.5 En suelo

En la tabla 3.7 se resumen los criterios nacionales e internacionales que establecen límites de concentración de plomo para diferentes tipos de suelos. Así mismo también se presenta la concentración de cadmio permitida para suelo de uso agrícola, que considera Canadá.

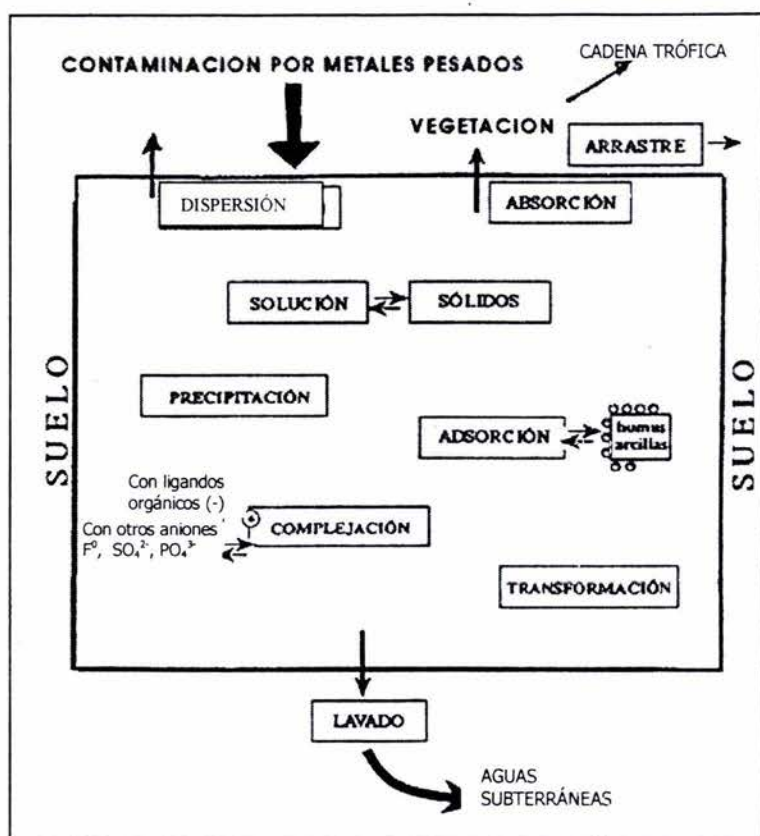
Tabla 3.7 Límites permisibles de plomo en suelo

Tipo de Suelo	Referencia	Concentración de plomo (* cadmio)
No-contaminado	NOM-021-RECNAT-2000 México	35 mg/kg
	WHO 1989	15 - 30 mg/kg
	GTT, 2002	25 mg/Kg
	Davies, 1983	40 mg/kg ( $0.2 \times 10^{-6}$ M)
	Países Bajos (TERRA TECH 6/94 citado por CES-IISC, 2002)	85 mg/kg
Nivel Peligroso	NOM-021-RECNAT-2000 México	100 – 300 mg/kg
En parques y jardines	U.S.A. (NLIC, 2001 citado por CES-IISC, 2002)	400 mg/kg - nivel peligroso
Suelo con riesgo a la salud	USEPA 2002	500-1000 mg/kg
Suelo(extracto de $\text{HNO}_3$ )	Suiza (BUB, 1987 citado por CES-IISC, 2002)	50 mg/kg
Suelo de uso agrícola	Canadá (CCME, 2002)	70 mg/kg
Suelo de uso residencial	Canadá (CCME, 2002)	140 mg/kg
Suelo de uso Industrial	Canadá (CCME, 2002)	960 mg/kg
Suelo de uso agrícola	Canadá (CCME, 2002)	* 1.4 mg/kg de cadmio
Suelo descubierto en el resto del área	U.S.A.(NLIC, 2001 citado por CES-IISC, 2002)	1200 mg/kg - nivel peligroso
En áreas públicas	Gran Bretaña (Sauerbeck, 1986 citado por CES-IISC, 2002)	2000 mg/kg

Es importante conocer que los metales pesados incorporados al suelo, pueden seguir cuatro diferentes vías como se muestra en la figura 3.1, además de los siguientes factores que influyen para su movilización y disponibilidad: (García y Dorronsoro, 2000)



- Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea en solución o sólidos fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas o alimenticias
- Pueden esparcirse a la atmósfera por la acción del viento
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas



García y Dorronsoro, 2000

Figura 3.1 Dinámica de los metales pesados en suelo

## pH

Los contaminantes pueden acidificar el suelo, por oxidación de sulfuros y óxidos nitrosos, lo cual incrementa la disponibilidad de los metales pesados, provocando que aumente la vulnerabilidad del suelo, el plomo en un medio ácido puede ser muy tóxico. Sin embargo el aumento de salinidad disminuye la disponibilidad de los nutrientes del suelo y puede incrementar la movilización de metales pesados. Cuando el azufre se oxida y se convierte en ácido sulfúrico, el pH del suelo comienza a decrecer, reduciendo el crecimiento de vegetación. (Dorronsoro, 2000) (Foth, 1978)

La movilidad del plomo es generalmente más lenta que la acumulación en la capa orgánica localizada generalmente en la superficie del suelo. En suelo con pH moderadamente alto el plomo se precipita como hidróxido, fosfato o carbonato, así como, promueve la formación de complejos orgánicos-plumbosos los cuales rara vez son estables. (Kabat - Pendias 1992)

Los suelos salinos tienen suficientes sales solubles que también disminuyen el crecimiento de las plantas, principalmente por el incremento de presión osmótica a la solución del suelo que restringe la absorción de agua. Las sales solubles en el suelo, pueden acumularse naturalmente en suelos de regiones áridas o como resultado de una mala irrigación del agua o el uso excesivo de sales solubles como fertilizantes. (Foth, 1978)

### **Textura**

Los suelos con alto contenido en arcilla tienen gran capacidad de inmovilizar los contaminantes. Mediante reacciones físico-químicas, la arcilla y la materia orgánica adsorben a los metales pesados y permiten su inmovilización. La arcilla tiene poca permeabilidad, por lo tanto, la movilidad de los metales pesados es lenta tendiendo a acumularse en la materia orgánica y en los primeros centímetros de suelo. (García y Dorronsoro, 2000) (Kabat - Pendias 1992)

Por el contrario, los suelos arenosos son muy permeables y no tienen la capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos. (García y Dorronsoro, 2000)

El plomo se asocia principalmente con materiales arcillosos, óxidos de Mn, materia orgánica, hidróxidos de Fe y Al, sin embargo también se puede encontrar en altas concentraciones de partículas de carbonato de calcio o de fosfato. (Kabat - Pendias 1992)

### **Materia orgánica**

Con la presencia de materia orgánica, como es la vegetación, desechos de animales de pastoreo y los nutrientes del suelo, los metales pueden formar complejos de cambio y quelatos con la materia orgánica para migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil, siendo más solubles y bioasimilables. El plomo forma quelatos solubles muy estables, que frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad del metal. (García y Dorronsoro, 2000)

Sólo una pequeña proporción de plomo en suelo es tomado por las plantas, el plomo adsorbido es transportado a la raíz y dependiendo la especie de la planta, se traslada a las hojas, aunque también depende de la época del año, por ejemplo, la raíz del pasto incrementa su adsorción de plomo en otoño y aún más en invierno. Se empieza a observar efectos tóxicos en la fotosíntesis y crecimiento de las plantas cuando la concentración de plomo se encuentra entre 100 y 1000 mg/kg en el suelo. El plomo reduce la actividad microbiana del suelo, como es el caso de un suelo ácido, en el cual, el plomo puede inhibir la mineralización del N y la nitrificación. (Alloway, 1995) (WHO, 1989)

### **Capacidad de intercambio iónico**

Esta propiedad está ligada a los coloides del suelo representados por la arcilla y por las moléculas húmicas, a este conjunto se le conoce como "complejo adsorbente o de cambio" y a la magnitud de esta propiedad como "capacidad de intercambio iónico"; cuando la mayor parte de los iones retenidos son cationes, se conoce como "capacidad de intercambio catiónico" expresado en cmol(c)/kg. (Universidad de Extremadura, 2001)

Las fracciones del suelo entre las que ocurre el intercambio catiónico son la orgánica y la mineral, una parte de la fracción limosa, la totalidad de la arcilla y materia coloidal. Como los cationes (en este caso

metales pesados) tienen carga positiva son atraídos por las superficies cargadas negativamente y la carga de ambos se neutraliza. (Universidad de Extremadura 2001, Sposito 1984, Lomeli et al 2002)

Los iones de valencia 2 ó 3 como el plomo están más intensamente unidos que los cationes monovalentes. Como regla general, los suelos con grandes cantidades de arcilla y materia orgánica tendrán una mayor capacidad de intercambio catiónico que los suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica. (Lomeli et al 2002, Universidad de Extremadura 2001)

Suelos con capacidad de intercambio iónico bajo, presentan baja capacidad para adsorber metales pesados. Al incrementarse la capacidad de intercambio iónico aumenta la capacidad de degradar e inmovilizar los contaminantes fijando los contaminantes sobre la superficie de las partículas. (García y Dorronsoro, 2000)

### **Condiciones redox (Eh)**

Al conjunto de un elemento oxidante y un reductor se le conoce como sistema redox, el que se reduce es el que posee una mayor capacidad oxidante, la capacidad oxidante es el potencial de oxidación (Eh) medido en mV (milivolts). (Universidad de Extremadura, 2001)

El ambiente oxidante en el suelo aumenta el poder de degradación o inmovilización de los contaminantes al facilitar la actividad microbiana de descomposición. Es importante controlar el potencial redox, ya que el descenso de Eh (condiciones más reductoras), disuelve óxidos de hierro y manganeso, resultando la movilización de los compuestos tóxicos adsorbidos. (García y Dorronsoro, 2000)

El cadmio tiene movilidad media en condiciones oxidantes (alto potencial redox Eh) y pH: ácido, neutro o alcalino. El plomo tiene movilidad baja en condiciones oxidantes (alto Eh) y pH: ácido, neutro o alcalino. (Plant y Raiswell 1983 citado por García y Dorronsoro 2000).

Se produce un descenso en el Eh si existe un drenaje de tierras húmedas o inundaciones de tierras secas como es el caso de los terrenos de Chapa de Mota. Aunque se generan condiciones más reductoras que oxidantes en época de lluvias, la mayor parte del año el suelo se encuentra seco, por lo tanto los metales tienen una movilidad media-baja en el suelo y se transporten con más dificultad. (Universidad de Extremadura, 2001)

### **Estado del metal**

La concentración en la fase disuelta (metales disueltos) proyecta la peligrosidad real o presente, mientras que la concentración total (metales totales) es válida para evaluar la peligrosidad potencial del suelo. (García y Dorronsoro, 2000)

Según el estado del metal en que se encuentra retenido en el suelo, será la disponibilidad relativa para las plantas y la incorporación a los organismos. Esto se muestra en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Forma del metal retenido en el suelo & disponibilidad para plantas y organismos**

Forma del metal en el suelo	Disponibilidad relativa por plantas y organismos
Ión en solución del suelo	Fácilmente disponible
Ión en complejo de cambio	Relativamente disponibles, por su pequeño tamaño y altas cargas quedan fuertemente adsorbidos
Metal precipitado o coprecipitado	Disponible sólo si ocurre alguna alteración química
Metales quelados por compuestos orgánicos	Menos disponibles
Incorporación a la matriz biológica	Disponible después de la descomposición
Metal en la estructura mineral	Disponible después de la meteorización

García y Dorronsoro, 200

### 3.3 EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN AL PLOMO

Dependiendo el tipo de exposición al plomo la intoxicación puede ser aguda o bien acumularse de manera crónica en dientes, huesos y sistema hematopoyético sin presentarse síntomas inmediatos o evidentes de intoxicación. (USEPA, 2001)

Los efectos de la exposición al plomo varían de acuerdo con el tamaño del cuerpo del individuo, por ejemplo los niños entre 1 y 2 años de edad absorben de 40 a 50% de plomo ingerido, comparado a la absorción de los adultos que va de 10 a 15%. En los países en vías de desarrollo, donde los objetos o sustancias con plomo todavía son comunes, más del 80% de todos los niños entre 3 y 5 años, exceden los niveles de plomo en sangre que la Organización Mundial de Salud (WHO) establece. Y se estima que de 15 a 18 millones de niños podrían haber sufrido daño permanente por intoxicación con plomo. (USEPA, 2001)

En la tabla 3.9 se pueden observar los efectos del plomo en la salud de humanos desde su gestación hasta la adolescencia y la adultez. Cabe mencionar que algunos trastornos por plomo en la salud generados desde la niñez se siguen presentando después de esta etapa. (USEPA, 2001)

Aunque no se ha comprobado la generación de cáncer en humanos a causa del plomo, los efectos que produce son más graves conforme este metal se va acumulando en el organismo

Tabla 3.9 Efectos en la salud con respecto a los niveles de plomo en sangre y al tipo de exposición a este metal

NIVEL	NIÑOS	ADULTOS	MUJER EMBARAZADA	RATA
<b>BAJO</b> (niveles que rebasan la NOM-199-SSA1-2000 hasta 50 µg/dL)	Anormalidades del comportamiento, alteraciones en aprendizaje y lectura, déficit de atención, irritabilidad hiperactividad (6)	Hipertensión, problemas en presión de sangre y enfermedad del corazón (4)		
<b>MEDIO</b> 50-70 µg/dL		Trastorno del sistema motor, pérdida de control de músculos de las extremidades, debilidad en articulaciones o fractura de tobillo, dedos o muñecas (1,4)		
<b>ALTO</b> 80 µg/dL ó mayor	Encefalopatía (4)	Pérdida auditiva, cefalea, debilidad (6) Escasa producción de hemoglobina, anemia, daño en riñones, neurotoxicidad periférica SNC, trastornos gastrointestinales, infertilidad (2)(4)	Aborto, daños al *SNC del feto, nacimiento prematuro o con bajo peso, desarrollo lento mental del bebé	Tumores en riñón sin predecir cáncer en humanos (2)
<b>Exposición crónica</b> (constante por mucho tiempo a niveles por arriba de la NOM-199-SSA1-2000)(4)	<b>Síntomas tempranos:</b> Pérdida de apetito, de peso, anemia, estreñimiento, irritabilidad, vómito ocasional, fatiga, cefalea, debilidad, sabor metálico, pérdida de habilidades recientemente adquiridas, cáncer de riñón, daño en cerebro, espermatogénesis, malformaciones congénitas			
	<b>Síntomas avanzados:</b> vómito, irritabilidad, nerviosismo, falta de coordinación, dolores vagos en los brazos, piernas, articulaciones y abdomen, trastornos sensoriales en las extremidades, parálisis de los músculos extensores, muñecas y pies péndulos, trastornos menstruales		El plomo traspasa la placenta y se acumula en el feto. Aborto	
	<b>Síntomas intensos:</b> vómito, ataxia, periodos de estupor o letargia, encefalopatía (con trastornos visuales), elevación de la presión arterial, papiledema, parálisis de nervios craneales, delirio, convulsiones y coma.			
<b>Exposición Aguda</b> (ingestión de plomo soluble o altas conc.)	Sabor metálico en la boca, dolor abdominal, vómito, diarrea, evacuaciones de color negro, oliguria, colapso y coma. (4)		**Saturnismo	
Exposición a Acetato de Pb				Cáncer (3)
Exposición a Grafito o plomo negro	Neumoconiosis, tos, deficiencia respiratoria, bronquitis (5)			
Exposición a Tetraetilo o tetrametilo de plomo	Insomnio, sueños perturbadores, inestabilidad emocional, hiperactividad, (4) irritabilidad, edema pulmonar, alteraciones degenerativas de riñón e hígado(5)			

(1) The poisonous lead battery waste trade, Greenpeace/Toxic Trade Publications, Washington, DC 1994  
(2) ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2001  
(3) DHHS Departamento de Salud y Servicios humanos, ATSDR 2001  
(4) Dreisbach, Manual de Toxicología Clínica, 1998  
(5) Plunkett E.R., Manual de Toxicología Industrial, 1974  
(6) CEPIS, 1999

\*\*Saturnismo.- Intoxicación aguda por plomo , Plumbismo. \*SNC: Sistema Nerviosos Central

---

---

## CAPÍTULO 4 TÉCNICAS DE MUESTREO Y ANÁLISIS

Cuando se trata de sitios abandonados en los cuales, ha transcurrido mucho tiempo desde que se depositaron los residuos, se presenta una mezcla de sustancias y la profundidad de la contaminación es mayor al paso del tiempo.

Es necesario realizar un muestreo del parámetro de interés que sea representativo de toda la zona de estudio, tanto el área potencialmente contaminada, como la que se encuentra libre de contaminantes, la cual se tomará como referencia. (OMEE 1994 citado por Izcapa 1998)

Las partículas tóxicas arrastradas por el viento se acumulan en la capa superficial del suelo, mientras que los depositados por derrames de líquidos o por la acumulación a largo plazo de materiales solubles en agua, se pueden encontrar a varios metros de profundidad. (CCME, 1993)

Con la finalidad de ahorrar costos de análisis y evitar gran variación entre los valores de todas las muestras, se toman muestras compuestas. La muestra compuesta está constituida por varias submuestras simples de suelo, las cuales provienen de una superficie de terreno relativamente homogénea y ha resultado ser equivalente a la media de los análisis de varias muestras individuales. (Jackson, 1982)

Cuando se toman las muestras y cuando se realizan los análisis de éstas en el laboratorio se utiliza un equipo de protección personal como: guantes, bata, tapabocas, de manera que evite la introducción de sustancias nocivas al organismo.

### 4.1 LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA Y MÉTODOS DE MUESTREO

#### 4.1.1 Suelo

Para definir los puntos de muestreo, el procedimiento más práctico es el muestreo en zig zag, a lo largo de una línea dentro del sitio de interés. Ya definido el plano de muestreo se decide la distancia entre los diferentes puntos, en relación con el número de submuestras elegido según el objetivo del muestreo. (NOM-021-RECNAT-2000) Otra forma de ubicar los puntos de muestreo es, en las áreas donde se observan anomalías como ausencia de vegetación, trozos de material o sustancias irregulares, manchas, anotando su localización y rotulándolas en la bolsa de plástico donde se almacenan. (CCME, 1993)

Las cajas de los acumuladores se depositaron en distintos predios, en uno de estos terrenos las cajas se localizan en la superficie del suelo y en los otros, los residuos se encuentran enterrados en éste. El contacto directo con las sustancias que tienen los residuos ocasiona que el suelo se considere contaminado.

El radio de concentración del plomo en superficie se localiza entre 0-15cm, ya que no se espera encontrar concentraciones altas de plomo a mayor profundidad, a menos que sea un suelo arenoso. (Colbourn y Thornton en 1978 citado por Alloway, 1995)

La profundidad del muestreo de suelo se establece tomando en cuenta el intervalo en el que se producen variaciones en el tipo de suelo (determinado por su color y textura) y el clima que impera en ese momento. (Jackson, 1982) Por lo que se establece una profundidad de 30 cm para la toma de muestras de suelo en Chapa de Mota durante 2 épocas del año, septiembre y noviembre del año 2002. (NOM-021-RECNAT-2000)

En las figuras 4.1. y 4.2. se marca la localización de las muestras de agua y de suelo en los dos sitios seleccionados.

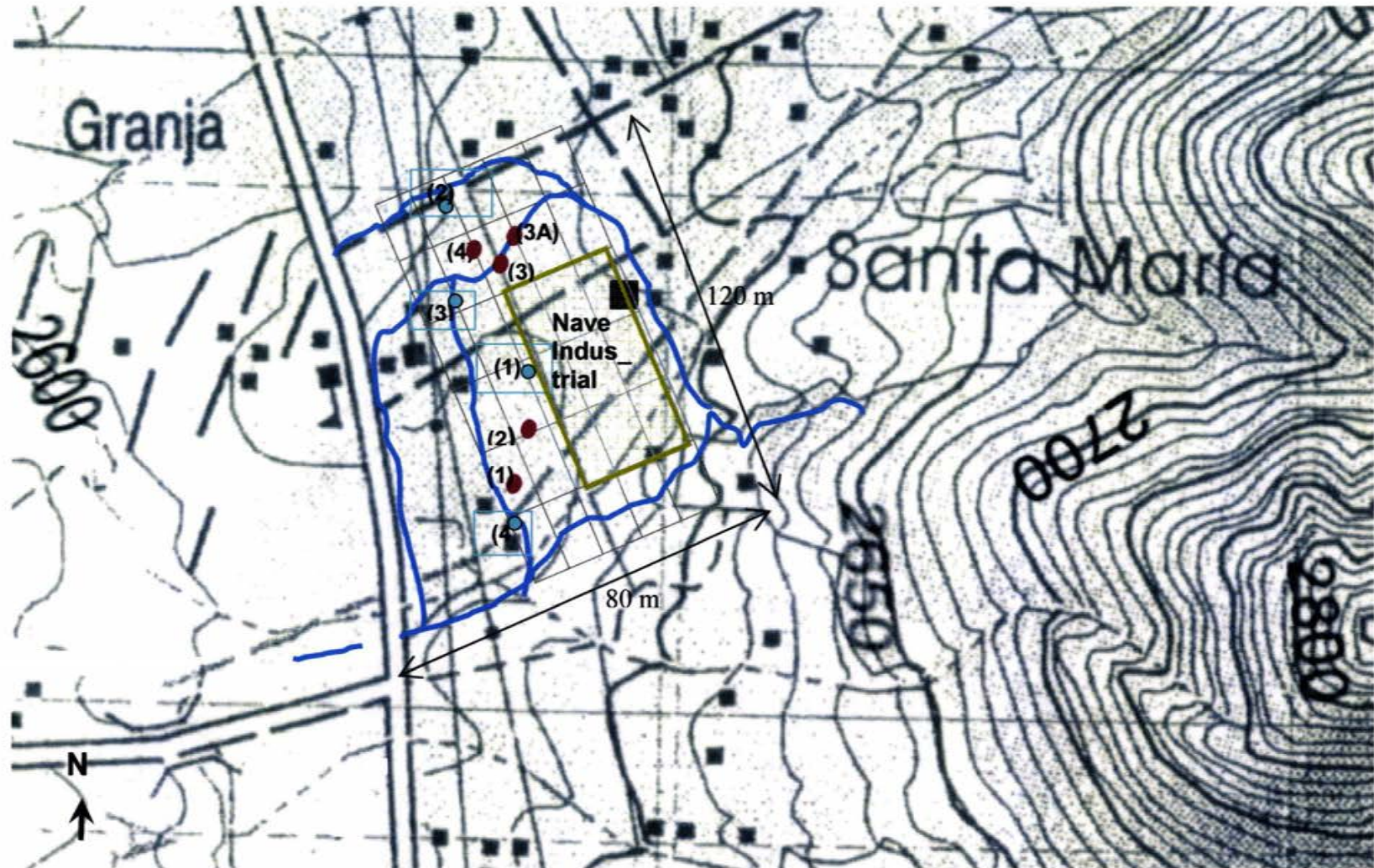


Figura 4.1 Mapa topográfico de muestreo en el predio donde se localiza la nave industrial recuperadora de metales desocupada, Chapa de Mota Estado de México INEGI

● Muestra de suelo    ● Muestra de Agua    ~ Causas de Agua

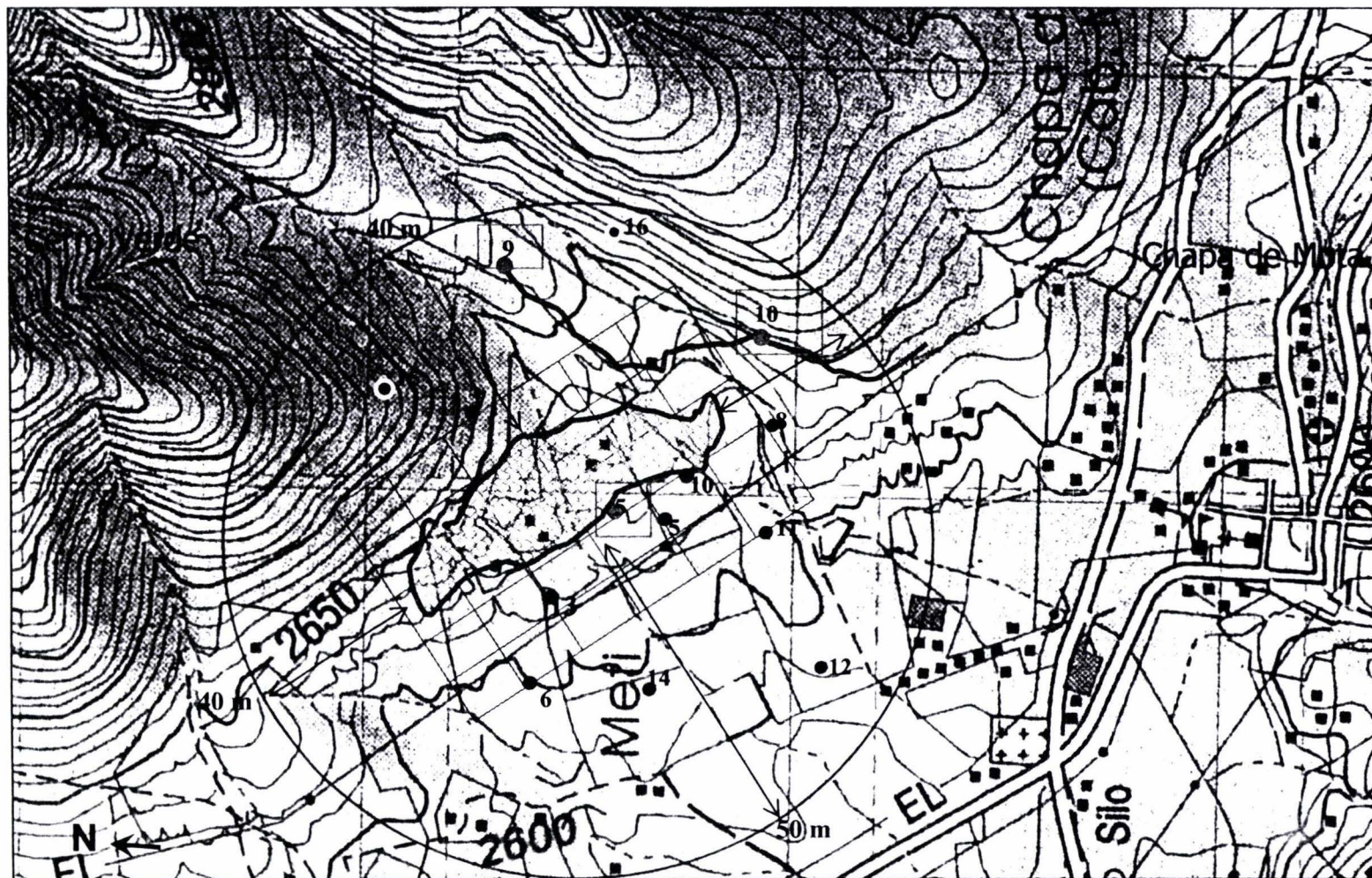


Figura 4.2 Mapa topográfico de muestreo en el predio de residuos de baterías ácido-plomo abandonados, Chapa de Mota Estado de México INEGI 1:50,000 1996

- Muestra de referencia
- Muestra de suelo
- Muestra de agua
- Radio de afectación de la contaminación y de limpieza del sitio



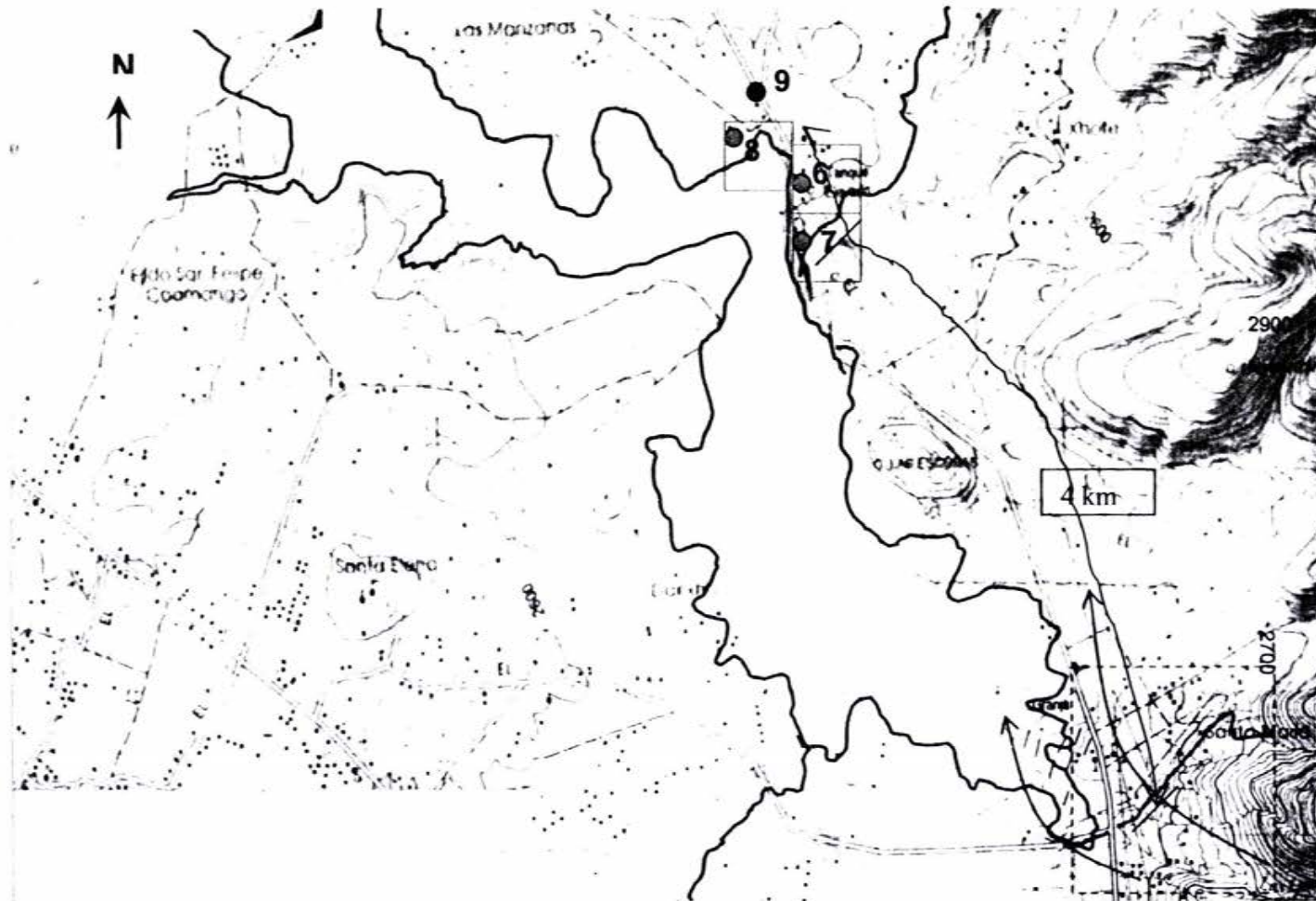


Figura 4.3 Mapa de la presa Danxhó, Chapa de Mota INEGI 1:50,000 1996

● Muestras de suelo

● Muestras de agua

Los puntos de muestreo se localizan de esta manera conforme a la topografía del terreno, a que el agua de lluvia que pasa por el sitio contaminado de la nave industrial baja por la pendiente y posiblemente se ha estado incorporando a la presa, así como las partículas que ha arrastrado el viento desde estos sitios.

#### 4.1.2 Agua superficial

Ya que existió por varios años la fundidora y los contaminantes expuestos a la intemperie en un sitio muy cercano a la presa Danxhó, se toma en cuenta que la acción del viento pudo arrastrar partículas con metales a otras extensiones de terreno o al cuerpo de agua. Probablemente las partículas de metales se han sedimentado, quedándose en el fondo de la presa o se hayan disuelto. Para analizar la existencia de plomo y cadmio es necesario tomar muestras de agua y, de ser posible, de sedimentos.

El CCME (1993) hace las siguientes recomendaciones en la toma de muestras representativas de agua superficial:

- No incluir partículas grandes no homogéneas en la muestra (hojas, dentritus)
- Colectar un volumen suficiente de agua para realizar los análisis por duplicado o triplicado
- Es útil monitorear cambios en el pH, temperatura o conductancia en muestras consecutivas para determinar el momento en el que la muestra es representativa, o sea; cuando deja de variar
- Todo el material para el muestreo y el análisis debe sumergirse durante 1 hr en una solución de ácido nítrico al 10 % y después enjuagarse con agua destilada. (NMX-AA-051-SCFI-2001)
- Los contenedores de las muestras deben lavarse con disolución de detergente no iónico libre de metales, enjuagarse con agua, remojar en ácido toda la noche, volver a enjuagarse con agua libre de metales y dejar secar. (NMX-AA-051-SCFI-2001)
- Los puntos de muestreo de sedimentos y agua se deben establecer corriente arriba y abajo en los límites de la propiedad.
- Para sitios de muestreo de agua con corriente homogénea en ancho y profundidad es adecuado colectar muestras simples a diferente profundidad.
- Preservación. Los analitos también pueden formar sales que precipitan, lo más común es la precipitación de óxidos e hidróxidos metálicos debido a que los iones metálicos reaccionan con el oxígeno, esto se previene adicionando ácido nítrico; la combinación de iones nitrato y pH bajo (menor de 2) y refrigeración a 4 °C mantiene la mayor parte de los metales en solución.

#### 4.1.3 Sedimentos

Para sitios abandonados o inactivos es conveniente colectar muestras de sedimentos, éstos comprenden desde arena hasta partículas de arcilla bajo el agua. (CCME, 1993)

El muestreo de sedimentos no se llevo a cabo debido a la ausencia de un medio para realizarlo a lo largo de toda la presa. En el caso de una investigación posterior a este estudio, se recomienda realizar un muestreo y análisis de sedimentos, siguiendo la metodología y utilizando el equipo adecuado.

La ubicación de los puntos de muestreo se debe establecer corriente abajo de cada descarga puntual en la presa. (OMEE 1994 citado por Izcapa 1998)

Existen dos tipos de sedimentos: de fondo (superficial y capas más profundas) y suspendidos. Las muestras de sedimentos suspendidos se colectan para determinar la cantidad y las características físicas y químicas de los sedimentos en suspensión. (CCME, 1993)

En el muestreo de sedimentos de fondo se debe colectar arcilla y materia orgánica en muestras compuestas, de esta manera se pueden observar mejor los contaminantes. En un lago, las muestras se colectan en el punto más profundo en tantos sitios como sea posible. Los muestreadores para sedimentos de fondo son: (CCME, 1993)

- Muestreadores simples
- Muestreadores de corazón
- Dragas.- colectan muestras grandes, bien mezcladas, cerca de la superficie, generalmente se consideran muestras cualitativas, ya que no se puede controlar la localización ni la profundidad de muestreo.

Preservación. Las muestras para análisis de metales traza requieren filtrarse tan rápido como sea posible después de colectarlas, esto se puede usar para medir los metales disueltos. Los procedimientos de preservación requieren acidificación para metales. (CCME, 1993)

#### 4.1.4 En pilas de materiales

No se conoce el tiempo que los cascarones de las baterías han estado a la intemperie desde su desecho y tampoco la forma en que los agentes atmosféricos pudieron actuar sobre estos (lluvia, aire, sol), el resultado de su análisis será la concentración actual de los residuos, no con la que los dispusieron.

#### 4.1.5 Suelo a diferentes profundidades

Se recomienda que siempre que sea posible, se tomen las muestras de suelo a diferente profundidad hasta alcanzar el nivel a que haya llegado el proceso geoquímico de alteración, por los agentes atmosféricos o contaminantes. Se tiene que describir los horizontes del perfil en cuanto a profundidad, color, morfología, textura, consistencia y drenaje o nivel freático. Generalmente se toma una fotografía y se traza un esquema del perfil, por esta razón el pozo tiene que orientarse para que quede bien iluminado. (Jackson, 1982)

Preservación. Cada muestra de un horizonte del perfil se coloca en una bolsa de plástico bien cerrada, y se etiqueta, cuando está muy húmeda se deja abierta la bolsa para que seque parcialmente. (Jackson, 1982)

### 4.2 METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE MUESTRAS

#### 4.2.1 Muestras de agua

Para la determinación de Pb y otros metales (Cd, Sb, Cu, Fe, Zn, Hg) en agua potable y purificada, se hace referencia de la NOM-117-SSA1-1994 "Métodos de prueba para la determinación de Cd, As, Pb, Sn, Cu, Fe, Zn y Hg en alimentos, agua potable y agua purificada por Espectrometría de Absorción Atómica".

Se emplea el método de prueba de espectrometría de absorción atómica sin digestión de la muestra para la determinación de plomo, cadmio, presentes en agua con <1 UTN (unidades nefelométricas de turbiedad) tomando como referencia la NMX-AA-051-SCFI-2001, APHA 1989.

#### 4.2.2 Muestras de suelo y sedimentos

Si la muestra contiene materiales suspendidos o materia orgánica como es el caso de las muestras de suelo y sedimento entonces se requiere una digestión de la muestra antes de determinar los metales totales, disueltos y suspendidos en base a NMX-AA-051-SCFI-2001. (Fernández-Villagómez, 1994)

El procedimiento de la digestión para eliminar materia orgánica y turbiedad de las muestras basado en la normatividad NMX-AA-051-SCFI-2001 y en APHA (1989), se representa gráficamente en las figuras 4.4, 4.5 y 4.6. Cabe mencionar que los metales totales se dividen en metales en suspensión y en fase disuelta, por lo que la suma de los dos últimos representa la concentración total de metales en un medio.

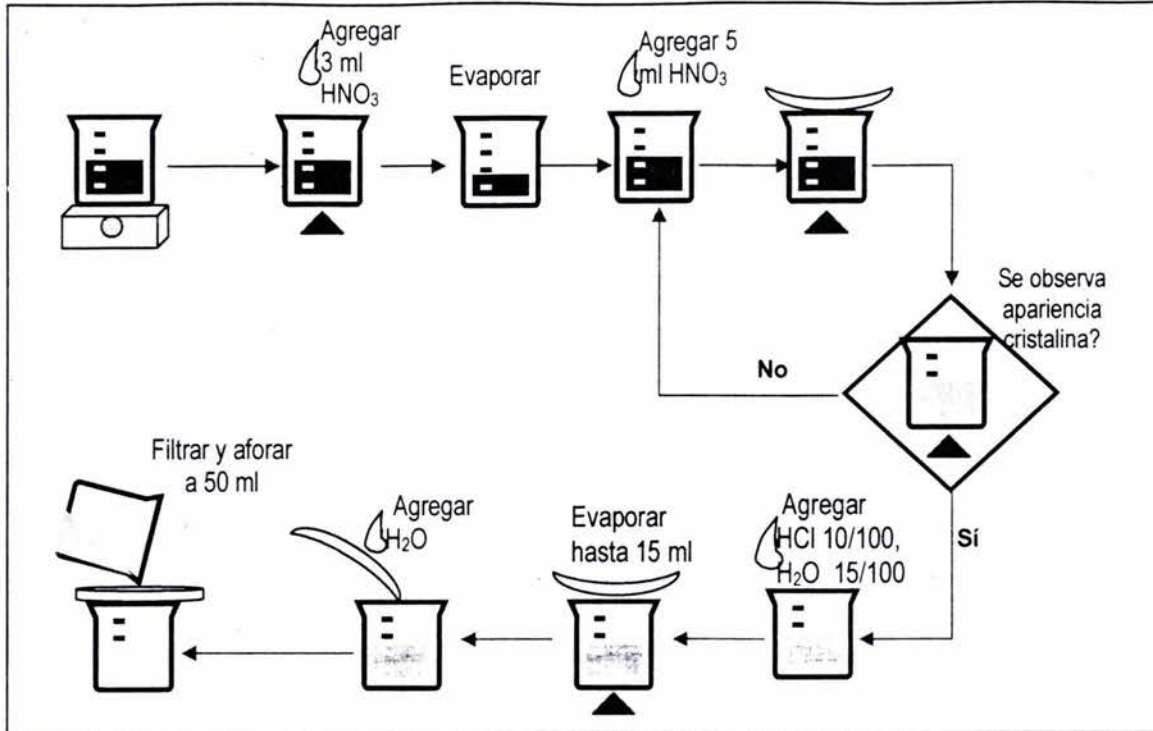


Figura 4.4 Digestión para metales totales ( NMX-AA-051-SCFI-2001 )

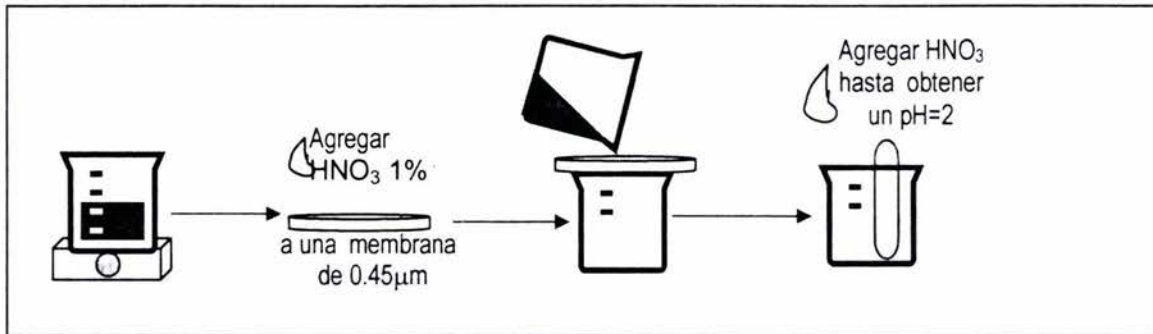


Figura 4.5 Digestión para metales disueltos ( NMX-051-SCFI-2001 )

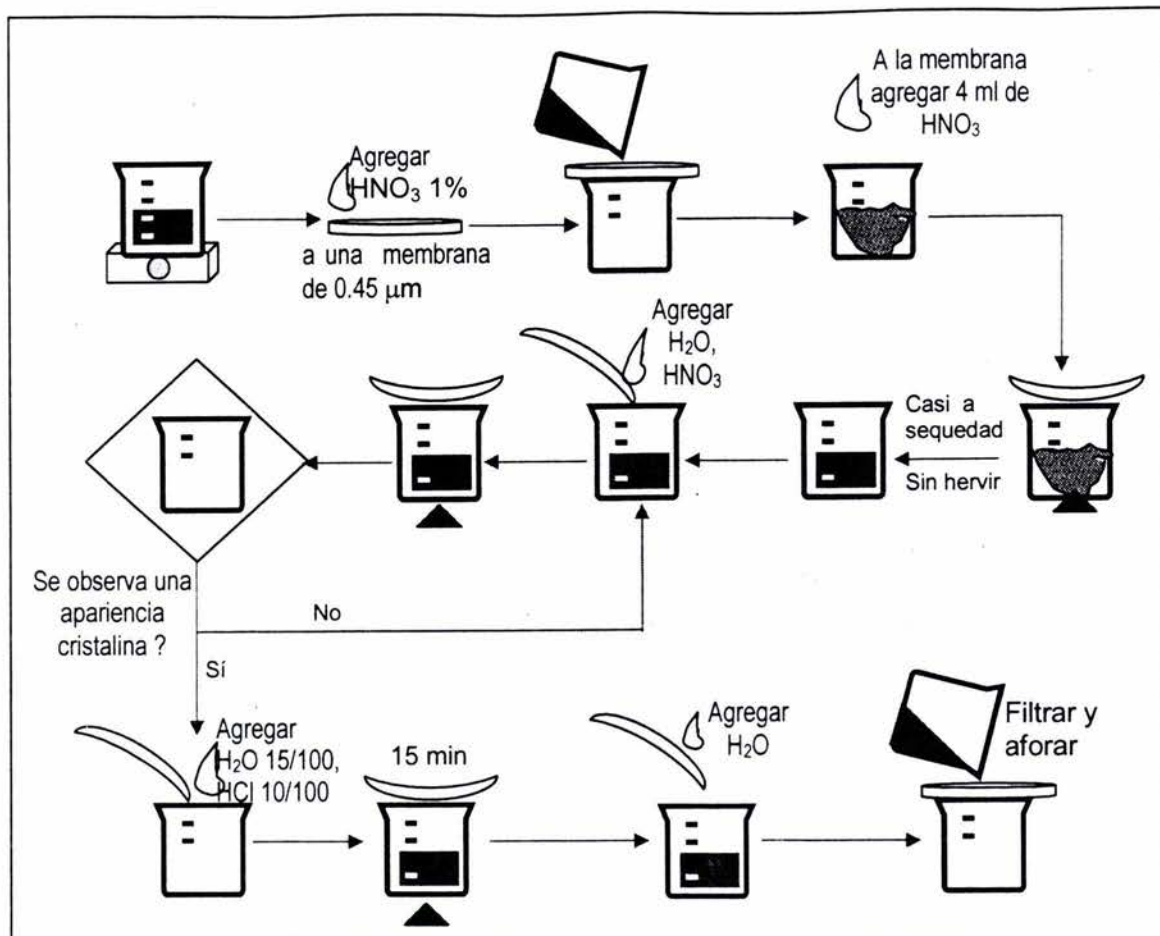


Figura 4.6 Digestión para metales suspendidos ( NMX-051-SCFI-2001 )

#### 4.2.3 Métodos para determinar metales

Entre los distintos métodos para determinar metales, se encuentran:

**Método colorimétrico** El plomo se extrae en forma de ditizonato cuya coloración roja es susceptible de una determinación colorimétrica. El límite de detección es  $2 \mu\text{g}$  de plomo. La precisión de los resultados es del orden del 15-20% para contenidos de  $0.1 \text{ mg/l}$  aproximadamente. (Rodier, 1981)

**Método polarográfico** El plomo se determina después de una preelectrólisis polarográficamente por redisolución anódica impulsional. El potencial de plomo es de  $-0.41 \text{ V}$ . Este método emite valores de concentraciones de plomo del orden de  $\text{mg/L}$ . (Rodier, 1981)

**Método de espectrometría de absorción atómica** Se dirige un rayo luminoso a través de una llama a un monocromador y sobre un detector, que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. Como cada metal tiene su propia longitud de onda de absorción característica, se utiliza como fuente luminosa una lámpara compuesta de dicho elemento; esto proporciona un método relativamente libre de interferencias espectrales o de radiación. La cantidad de energía absorbida en la llama a una longitud de onda característica es proporcional a la concentración del elemento en la muestra, dentro de un intervalo. (APHA,

1989) Si las concentraciones son pequeñas y el volumen de muestra es poco se emplea entonces el horno de grafito como fuente de energía térmica para excitar a los átomos. (Fernández-Villagómez, 1994)

El método de absorción atómica además de ser preciso, es fácil y rápido una vez calibrado el equipo, por lo que se utilizará para determinar las concentraciones de plomo y cadmio de las muestras obtenidas en Chapa de Mota.

Equipo: Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 560

Lámpara de plomo de cátodo hueco

Lámpara de cadmio de cátodo hueco

Conjunto nebulizador-quemador de aire-acetileno

Tabla 4.1 Márgenes de concentración de absorción atómica con aspiración directa

Elemento	longitud de onda nm	gases de la llama	límite de detección del instrumento mg/l	Sensibilidad mg/l	Margen óptimo de conc. mg/l
Pb	283.7	Aire-acetileno	0.05	0.5	1-20
Cd	228.8	Aire-acetileno	0.002	0.025	0.05-2

APHA, 1989

Para calibrar y estabilizar el equipo se realiza una curva con diferentes concentraciones de cobre que se comparan contra la medida de absorbancia que establece el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 560.

Una vez que el equipo se encuentra estable, se calibra para cada metal realizando una curva con diferentes diluciones de una solución estándar con 1000  $\mu\text{g/ml}$  del elemento, contra la medida de absorbancia de cada concentración, como se muestra en las figuras 4.7 y 4.8. (Rodier, 1981)

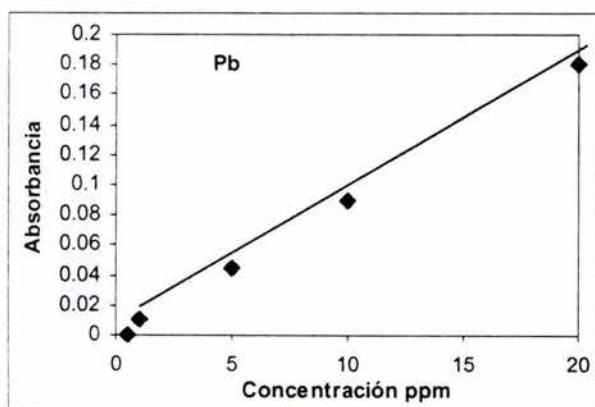


Figura 4.7 Curva de calibración para plomo

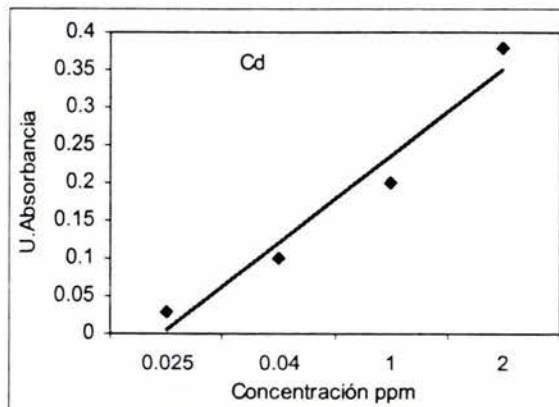


Figura 4.8 Curva de calibración para cadmio

En el espectrofotómetro de absorción atómica se realizan mediciones de la muestra digerida concentrada y en algunos casos diluida 10/100 ml ó 1/100 ml en agua desionizada, para que el equipo mida la concentración dentro del intervalo de detección del elemento. Para los casos en que se hizo dilución, se efectúa la conversión del dato emitido por el espectrómetro multiplicándolo por el factor de dilución correspondiente.

### 4.3 ELABORACIÓN DE ENCUESTAS PARA LA POBLACIÓN DE CHAPA DE MOTA

El objetivo de la elaboración de encuestas dirigidas a la población cercana a la zona de estudio perteneciente al municipio de Chapa de Mota, es evaluar en forma general si las concentraciones de plomo presente en los sitios de estudio pudieran estar afectando a la salud de la población. Por eso se realizaron sólo 10 encuestas al azar con preguntas referentes a la salud personal y familiar, hábitos higiénicos y alimenticios, comportamiento, datos ocupacionales, como se observa en el anexo I.

Lo que se pretende obtener con las encuestas son indicios de síntomas de intoxicación por plomo o cadmio basándose en la información de toxicología, y si es así, el nivel de intoxicación, relacionándolo con los hábitos y actividades que realiza la persona y/o su familia.

Las respuestas de estas encuestas no pueden ser cuantitativas ya que difieren mucho en cuanto a hábitos y manifestaciones de intoxicación. Sin embargo de los resultados de las encuestas se puede hacer una clasificación como, población que presenta síntomas de intoxicación aguda, crónica, con niveles altos o bajos de plomo, o sin síntomas de intoxicación por metales.

No es posible aseverar que la población está intoxicada con metales pesados aunque presente síntomas de ello, para esto, es necesario realizar la encuesta con un número mayor de personas y realizarles un análisis de laboratorio en el Centro de Salud que determina el nivel de plomo en sangre.

---

---

## CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN

### 5.1 CONCENTRACIONES DE METALES

Los muestreos de agua y suelo en los sitios de estudio se realizaron en dos épocas del año: 24/sept/02 que corresponde a la temporada de lluvia en Chapa de Mota y, 20/nov/02 a un clima menos húmedo.

En la tabla 5.1 se resumen las concentraciones de plomo Pb, al igual que las de cadmio Cd, obtenidas de las muestras de agua de los sitios de estudio en Chapa de Mota. Así mismo los metales se dividen en totales y disueltos. Se presenta también el pH de la muestra, el volumen de análisis, la localización de la toma y algunas observaciones. Los parámetros que se utilizan para evaluar la calidad del agua muestreada se encuentran en la NOM-001-ECOL-1996, NOM-127-SSA1-2000, CCME 2002, y DVGW 1985.

La tabla 5.2 muestra las concentraciones obtenidas en los análisis de suelo para plomo Pb, presentado en el lado izquierdo de la tabla en metales totales y disueltos, de igual forma para cadmio Cd del lado derecho de la misma. Los criterios utilizados para evaluar la calidad del suelo muestreado se encuentran en la NOM-021-RECNAT-2000, en los estándares para plomo de US-NLIC 2001, de CCME 2002 y de USEPA 2002.

Tanto en la tabla 5.1 como en la 5.2 el metal total o disuelto, de Pb ó Cd, se representa sombreado de diferente forma o color, por ejemplo en la tabla 5.1, el plomo total se observa sombreado de color azul y el plomo disuelto con rayas azules. Se comparan las concentraciones de cada muestra, con los límites establecidos en México u otros países para la calidad y uso de suelo o agua y se clasifica en alguna categoría dependiendo su valor, sombreado esta celda con el color del metal medido. En el caso de que la concentración rebase el límite de la categoría, entonces se representa con una flecha hacia arriba. Por ejemplo la concentración de la muestra no. 7 de agua (ver Tabla 5.1) de plomo total con color azul 3 mg/l es mayor que el límite de agua de embalse natural para riego agrícola, indicado con una flecha y la concentración de plomo disuelto de 0.4 mg/l es menor que el límite de agua de embalse natural para uso urbano, por lo que ese recuadro se observa con fondo rayado azul.

Para determinar si los residuos de baterías son riesgosos, se tomó una muestra compuesta de cajas de baterías de uno de los sitios de estudio, para compararla con la norma NOM-052-ECOL-1993; la cual menciona que el lixiviado del residuo no debe exceder de 5 mg/l (ppm) de plomo y 1 mg/l de cadmio. Como se muestra en la tabla 5.2 la concentración de la muestra excede el límite permisible, por ello se considera que los residuos abandonados por la industria recuperadora de metales, son tóxicos y peligrosos a la salud de la población y al ambiente.

Al analizar los resultados del muestreo de suelo y agua, se observó que la concentración de cadmio encontrado es el 6% con respecto a la del plomo, que refleja la misma proporción de cadmio-plomo de las baterías utilizadas como materia prima en la industria. (Environment Canadá, 1994)



Tabla 5.1 Concentraciones (conc.) de plomo y cadmio en agua de los sitios de estudio vs. estándares nacionales e internacionales (2002)

Muestra de Agua No.	pH	Vol de muestra ml	Límites y estándares de plomo nacionales e internacionales (ppm=mg/l)							Conc. Plomo disuelto mg/l	Conc. Cadmio total mg/l	Límites y estándares de cadmio nacionales e internacionales (ppm)			Conc. Cadmio disuelto mg/l	Observaciones
			Conc. Plomo total mg/l	Agua Potable México	Agua Superficial Canadá	Embalse Nat. uso urbano México	Embalse Nat. riego agrícola México	Agua Potable México	Embalse Nat. uso urbano México			Embalse Nat. riego agrícola México				
				0.025	0.05	0.4	1	0.017	0.1			0.2				
1	6.7	50	96				↑	62	0.02				ND	12:20 hr, desagüe de la nave Industrial		
2	6.4	50	5.4				↑	4	0.24			↑	0.2	12:06 hr Riachuelo cerca de nave Ind., aceitoso		
3	6.4	50	8				↑	8	0.04				0.04	12:30 hr, con larva de insecto		
4	6.2	50	20				↑	7.5	0.2				0.1	12:30 hr con sedimentos amarillos (aparición de óxido con arcilla)		
5		50	25				↑	3	ND				ND	13:15 hr agua acumulada en caja de batería		
6	7.6	50	ND					ND	ND				ND	Orilla de presa Danxhó		
7	8	50	3				↑	0.4	0.6			↑	0.025	Salida de presa Danxhó		
8	7.1	1000	0.5					0.06	ND				ND	16:00 hr orilla de presa Danxhó		
9														Aguas arriba predio con R.P., proveniente del cerro Verde, apariencia clara		
10														Aguas abajo de R.P., apariencia fangosa		

NOM-001-ECOL-1996  
 NOM-127-SSA1-2000  
 CCME, 2002  
 DVGW, 1985

ppm.- partes por millón = mg/l  
 pH.- potencial Hidrógeno  
 R.P.-residuos peligrosos  
 ND.- No detectable

En las figuras 5.1 y 5.2 se presentan las concentraciones de metales de la tabla anterior en forma de gráfica, para distinguir mejor la cantidad de muestras que rebasan los límites nacionales de la NOM-001-ECOL-1996 que clasifican el agua para un uso específico y las que son menores a estos.

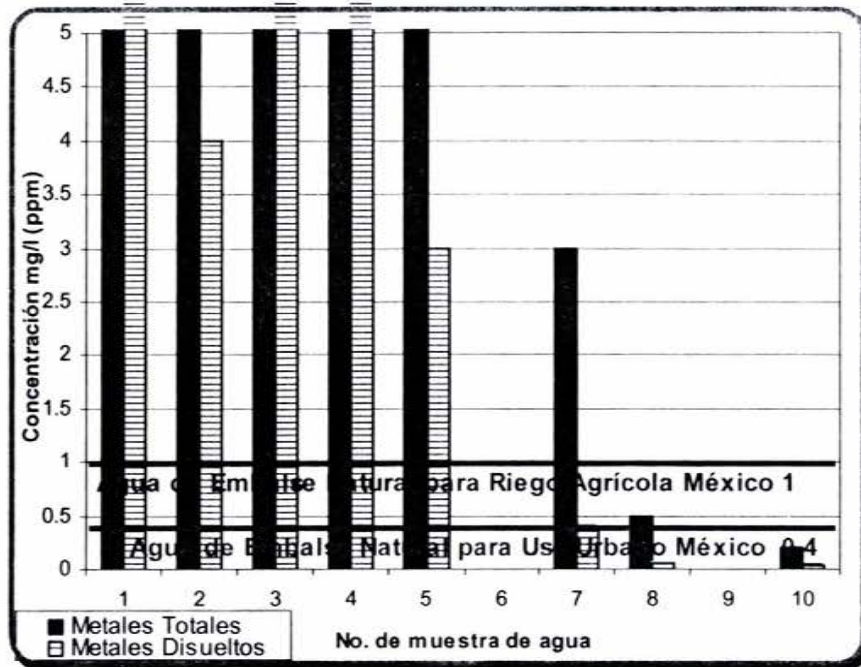


Figura 5.1 Concentraciones de plomo en agua vs. normatividad nacional

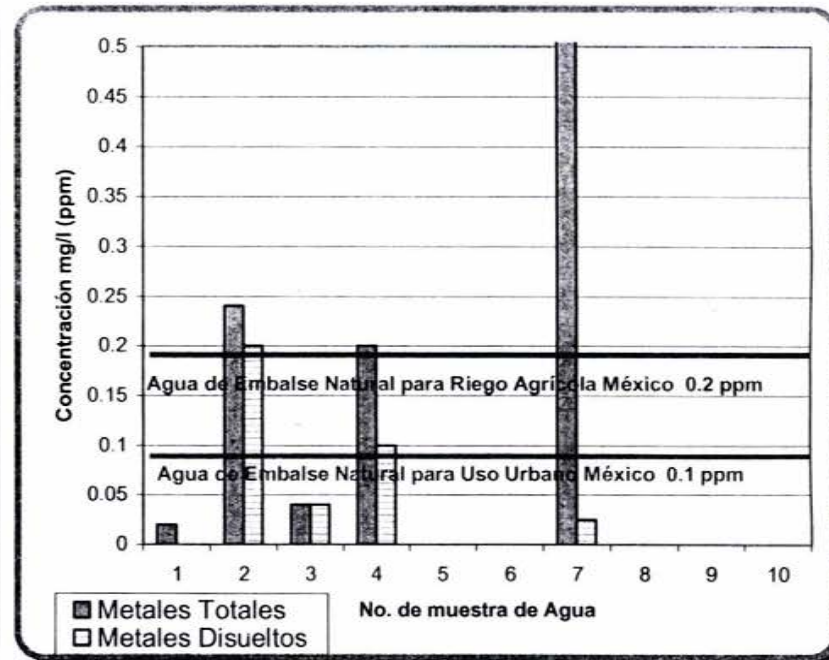


Figura 5.2 Concentraciones de cadmio en agua vs. normas nacionales

Tabla 5.2 Concentraciones (conc.) de plomo y cadmio en suelo de los sitios de estudio vs. estándares y criterios nacionales e internacionales (2002)

Muestra de Suelo No.	pH	Peso de muestra húmeda g	Conc. Plomo total base húmeda (mg/kg)	Estándares y criterios nacionales e internacionales de suelo (ppm=mg/kg)					Conc. Plomo disuelto (mg/kg)	Conc. Cadmio total base húmeda (mg/kg)	Estándares y criterios (ppm) nacionales e internacionales			Conc. Cadmio disuelto (mg/kg)	
				Normal NOM-021-RECNAT México	Uso Agrícola Canadá	Uso Residencial Canadá	Peligroso NOM-021-RECNAT México	Peligroso a la Salud USEPA			Peligroso USNLIC	Normal NOM-021-RECNAT México	Suelo uso agrícola Canadá		Peligroso NOM-021-RECNAT México
				35	70	140	100-300	500-1000			1200	0.35	1.40		3 - 5
1	4.6	12	150						66.67	0.42				0.25	
2	4.5	12	308						141.67	16.67			↑	1.25	
3	3.1	12	1,458						108.33	0.08				ND	
3A	3.1	12	1,667						52.08	ND				ND	
4	1	12	2,500						20.00	5.00				ND	
5	1.7	12	83						6.00	2.50				ND	
6	3.4	12	225						2.00	ND				ND	
7	2.9	12	33						ND	3.33				ND	
8	2.5	12	43						ND	2.50				ND	
9	2.8	5	15						ND	0.80				ND	
10	5.9	5	520						4.00	1.00				0.40	
11	2.9	5	30						ND	1.00				1.00	
12	3.4	5	18						0.80	2.00			↑	0.20	
13	5.7	5	600						3.40	2.00			↑	0.80	
14	5.5	5	480						2.60	2.00			↑	0.80	
15	5.9	5	40						1.00	20.00			↑	ND	
16	6.2	5	ND						ND	0.40				0.40	
Caja		10	7,000						94.00	1.00				ND	
Roca	4.6	12	833						7.00	45.83			↑	ND	

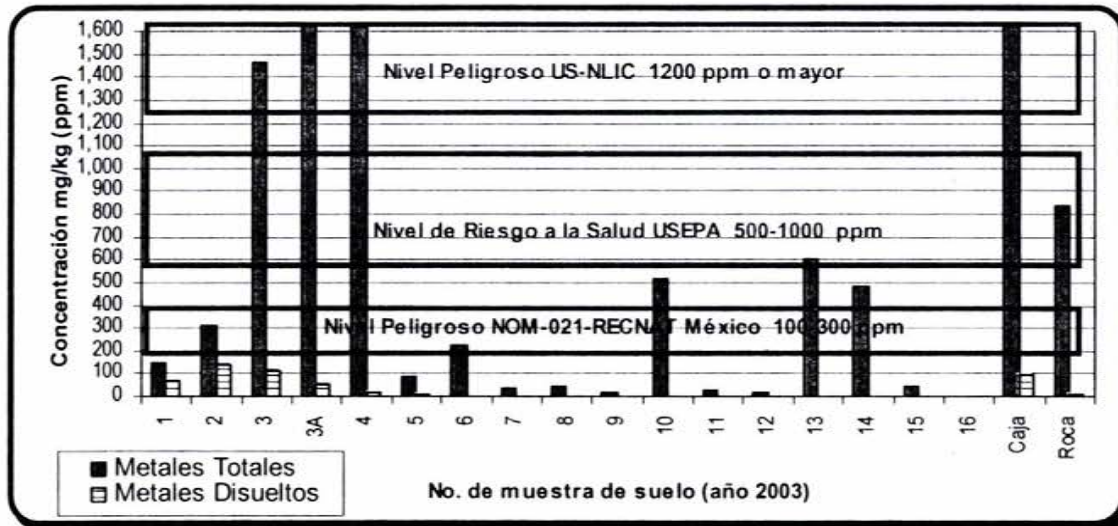


Figura 5.3 Concentraciones de plomo en el suelo vs. normatividad nacional e internacional

En las figuras 5.3 y 5.4 se observan los intervalos en que el suelo es considerado peligroso o riesgoso, según el criterio nacional o internacional. Cuando el valor de la concentración de la muestra se sitúa dentro de uno de los intervalos, entonces se considera que está dentro de la clasificación que se indica.

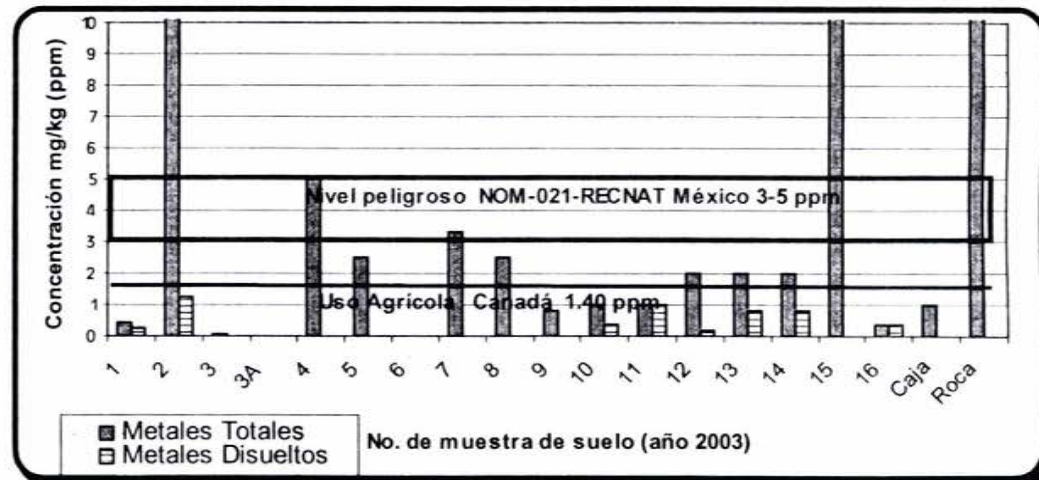


Figura 5.4 Concentraciones de cadmio en el suelo vs. normatividad nacional e internacional

Para precisar los factores que están influyendo en la contaminación de suelo y agua, se analizó la dinámica de los metales pesados en el suelo, expuesta en el sub-capítulo 3.3.5, además de la topografía de los sitios, tipo de suelo, precipitación pluvial y viento.

Debido a que los residuos industriales se han mantenido en el suelo aproximadamente 25 años, la disponibilidad del plomo ha disminuido, ya que el elemento se fija en las posiciones de adsorción más estables. Puesto que este metal no se transporta fácilmente a través de suelo, permanece en los horizontes superiores probablemente en la raíz de algunas plantas. (CES-IISC, 2002)

## 5.2 EVALUACIÓN DEL PREDIO EN EL CUAL SE UBICABA LA INDUSTRIA FUNDIDORA

En este predio, cuando la industria estaba en funcionamiento se emitieron al aire partículas con metales pesados, que por acción del viento fueron trasladadas hacia el norte y noroeste, depositándose en la presa y en el suelo de terrenos cercanos. La lluvia se ha encargado de lixiviar estas partículas a mayor profundidad o arrastrarlas por la pendiente hasta los cauces naturales que se dirigen a la presa Danxhó.

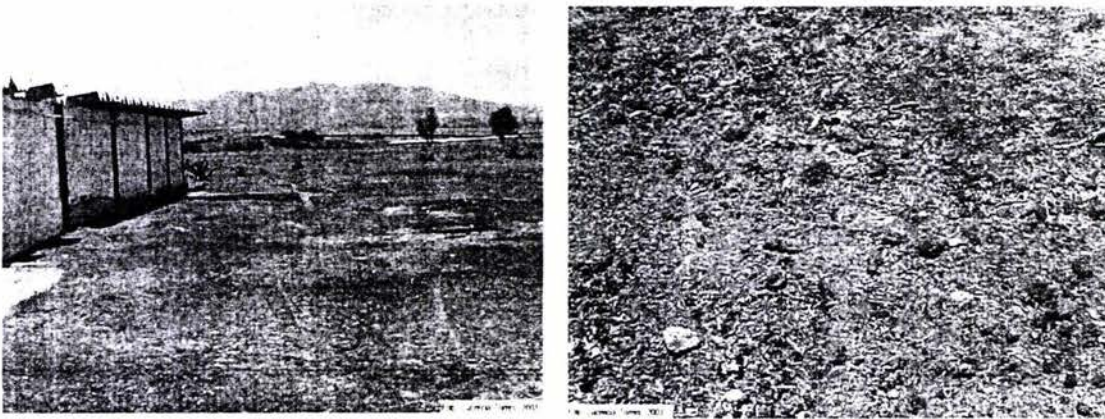
Todas las muestras de agua tomadas en el predio de la nave industrial (muestras de 1 a 4) rebasan el límite permisible de plomo en agua tanto para embalse como para riego. La más alta concentración de plomo se encontró en la muestra 1 procedente de un depósito de desechos líquidos de la industria donde el agua ha estado almacenada por mucho tiempo. (CNA-SEMARNAT 1981-1993, INEGI 1988)

La muestra 2 de suelo se tomó junto al depósito de desechos líquidos de la industria donde existen vestigios de un horno de fundición, además de ser un área donde no crece vegetación, como se observa en la figura 5.5, que por sus altas concentraciones de metales resulta ser un suelo peligroso. En esta zona es probable que los metales se hayan movilizado rápidamente a lo largo del perfil debido a la ausencia de materia orgánica que los adsorba. Igualmente el suelo de la muestra 1 localizada a 15 m pendiente abajo de ésta resulta peligroso con concentraciones ligeramente menores. (CCME 2002, NOM-021-RECNAT-2000)



**Figura 5.5** Lugar donde hay huellas de la presencia de un horno y ausencia de vegetación, muestra 2 de suelo

Las mayores concentraciones de metales en suelo corresponden a las muestras 3, 3A, y 4, que rebasan el límite que proporciona USNLIC para suelo peligroso, en esta zona se encuentran trozos de metal aleados con roca y trozos pequeños de plomo en forma de escoria como se observa en la figura 5.6. El cadmio en la muestra 4 también rebasa este límite y presenta un pH muy ácido, por ello estos metales tienen más solubilidad y migran rápidamente a lo largo del perfil debido a que hay escasa materia orgánica que impida su avance. No obstante el plomo disuelto de las muestras 3 y 3A logró solubilizarse moderadamente, aunque se inmoviliza en el sitio, quizá debido a la alta concentración de hierro (Fe) que retiene o adsorbe a este elemento. (Kabat - Pendias 1992)



*Figura 5.6 Costado de la nave industrial con metales aleados a rocas y escorias depositadas en el suelo y acercamiento*

Adicionalmente también se realizó el análisis de una de las rocas fundidas con metal, que se observa en la figura 5.7 cuya concentración de plomo y cadmio es muy elevada como se observa en la tabla 5.2. Tomando en cuenta que la roca es un elemento sólido, la concentración de metales disueltos fue muy baja sin rebasar ninguna norma. (NOM-021-RECNAT-2000, USEPA 2002).



*Figura 5.7 Roca aleada con metal encontrada en el predio de la nave industrial*

Se puede observar que la concentración de metales en el suelo es mucho mayor a la que se encuentra en el agua, esto puede deberse a que el agua de lluvia arrastra las partículas depositadas en el suelo hacia los cauces de agua, quedando la mayor cantidad de metales retenidos en el suelo y una concentración menor en los cauces, que puede sedimentarse en gran parte. (Oyarzun e Higuera, 2000)

Asociado a esto, aproximadamente 5 años después de clausurada la industria se observan zonas con gran cantidad de escoria depositada en el suelo y muchas de éstas áreas sin vegetación, esto indica que las altas concentraciones de metales han resultado tóxicas para la flora. Debido a esto y al pH ácido del suelo, los metales pueden movilizarse y contaminar el suelo a mayor profundidad. (DVGW 1985 citado por CES-IISC 2002)

Los metales junto con la materia orgánica presente en el suelo forman complejos, haciéndose más solubles y asimilables para plantas y animales como los que viven en el sitio, ocasionando que el envenenamiento con metales además de introducirse en este organismo, se convierta en alimento de algún animal y continúe en la cadena o red trófica hasta el humano. (García y Dorronsoro)

Debido a que la concentración media de plomo y cadmio total es de 1216.60 mg/kg y 4.43 mg/kg, respectivamente, el suelo se considera peligroso según la NOM-021-RECNAT-2000, como se observa en las figuras 5.3 y 5.4, por lo cual no debe tener ningún uso hasta que no se limpie adecuadamente toda el área contaminada; sin embargo, considerando los años que estuvo activa e inactiva la industria, aunado a las emisiones de partículas que durante mucho tiempo se depositaron en el sitio y predios aledaños, es conveniente establecer un área de afectación más grande y limpiar todo el predio de aproximadamente 1.05 hectáreas por 40 cm de profundidad con un índice de seguridad del 10% (cada m<sup>3</sup> se considera como 1 ton), asumiendo la relación costo-beneficio.

### 5.3 EVALUACIÓN DEL PREDIO DONDE SE ENCUENTRAN ABANDONADOS LOS RESIDUOS DE BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO

La muestra 16 sirvió de referencia para observar las características del suelo sin agentes externos que lo modificaran como los residuos con metales, en la cual no se detectó la presencia de metales de origen natural. Igualmente con la muestra 9 de agua proveniente del Cerro Verde, demuestra que los cauces de agua sin alterar dentro de esta región se encuentran libres de metales.

Los metales disueltos de todas las muestras de suelo tomadas en este predio se encontraron en concentraciones muy bajas aunque probablemente los metales sean tan solubles debido al pH ácido, que migren fácilmente a lo largo del perfil o estén disponibles para que se bioacumulen en las plantas del sitio o en el ganado. (NOM-021-RECNAT-2000)

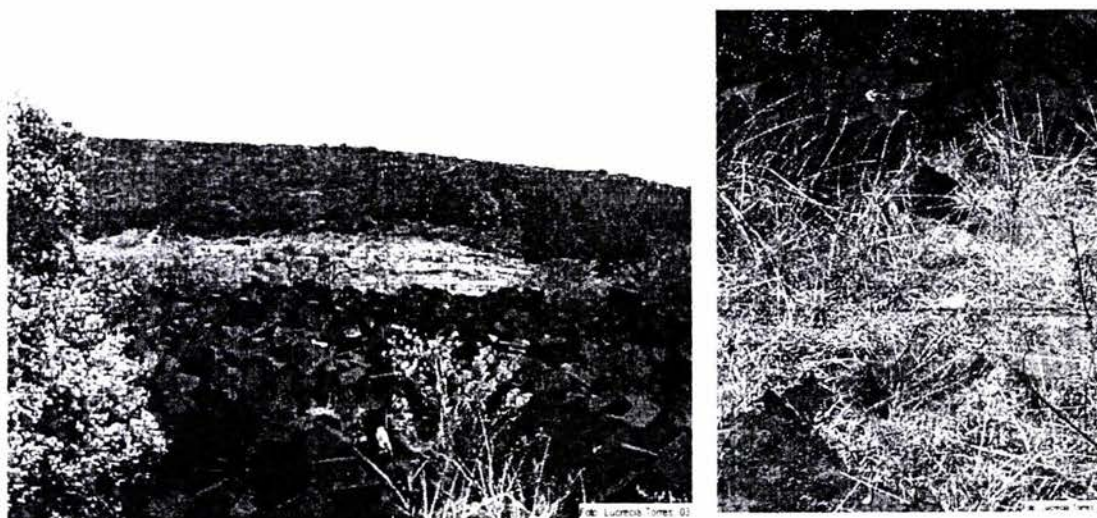
La muestra 7 de suelo se tomó hacia el este a 20 m del montículo de las cajas de baterías después de una pared vertical de aproximadamente 2 m de altura por lo que no se encuentra a la misma altura que los residuos. Esta muestra presentó una concentración baja en plomo pero alta en cadmio, debido a que el lixiviado del plomo no ha llegado a tal profundidad.

Hacia la misma dirección aunque más alejada del montículo y pendiente arriba, la muestra 15 presenta una concentración de plomo similar a la muestra anterior pero muy por arriba en cuanto a cadmio. Las dos últimas muestras indican que el suelo no tiene importantes concentraciones de metal mientras se localice pendiente arriba de los residuos peligrosos.

Siguiendo la pendiente del sitio se analizó la muestra 13 tomada junto al montículo de cajas de baterías, la cual arroja la concentración de plomo más alta del sitio de 600 mg/kg, que confirma que las cajas de baterías ácido-plomo no se encuentran libres de metales, los cuales están siendo lixiviados hacia el suelo; aunque la concentración de cadmio no es tan alta en esta muestra.

La muestra 5 de agua de lluvia dentro de las cajas de baterías resultó con una alta concentración de plomo que seguramente la caja contenía y al caer agua de lluvia que generalmente es ácida, desprendió y disolvió este metal. La precipitación pluvial media de cada año lava las cajas de baterías abandonadas y va desprendiendo los metales que contienen, lixiviándolos al suelo, produciendo contaminación en este medio y en los riachuelos donde logra llegar el agua.

En la muestra 5 de suelo (su localización se observa en la figura 5.8) hay presencia tanto de plomo como de cadmio, aunque la concentración no es peligrosa ni tan alta como de la muestra 13 a pocos metros de distancia, ni tanto como la muestra 10 localizada pendiente abajo hacia el sureste que arroja concentraciones de plomo y cadmio casi tan altas como las de la muestra 13.



*Figura 5.8 Ubicación de la muestra 5 en el predio donde se encuentran los residuos de cajas de baterías y su acercamiento*

La muestra 8 de suelo realizada casi a la misma altura del montículo y a 5 m de distancia hacia el sur, presenta una concentración de plomo así como de cadmio baja, es decir, que no representa peligro para la salud o el ambiente de acuerdo a las normas.

Para determinar el área afectada por contaminación de metales pesados específicamente plomo y cadmio, se obtuvieron muestras cada vez más alejadas del montículo para observar la variación en la concentración, éste es el caso de la muestra 6 de suelo localizada aproximadamente a 20 m dirección oeste del montículo de residuos, que presenta una concentración todavía muy alta de plomo aunque el cadmio ya no se detecta.

También es el caso de la muestra 14 que presenta una concentración de metales menor a la de la muestra 13 y se localizada a 20 m suroeste y pendiente abajo de esta última.

Aunque la muestra 11 de suelo localizada a 12 m SW del montículo de residuos arroja una concentración muy baja de metales, refleja junto con la muestra 12 ubicada pendiente abajo, que las concentraciones de metales van disminuyendo a mayor distancia y mayor pendiente.

Sumado a esto, las muestras 5 y 10 de agua reflejan que los residuos de baterías ácido-plomo abandonados en este predio no se encuentran totalmente limpios, por lo que están causando contaminación por metales en los cauces cercanos a los residuos, así como en el suelo. Por lo tanto,



resulta forzoso remover los residuos a un sitio de disposición seguro y regulado por la Federación para evitar que este terreno así como las áreas aledañas se sigan contaminando.

La media aritmética de las concentraciones de plomo y cadmio total en suelo, de 188.36 mg/kg y 3.34 mg/kg, respectivamente, se consideran peligrosas según la NOM-021-RECNAT-2000 y riesgosas a la salud según USEPA 2000, por esta razón se recomienda realizar un tratamiento para descontaminar el suelo afectado de aproximadamente 1.2 hectáreas como se observa en la figura 4.2, tomando como centro del radio el montículo de residuos que es necesario remover previamente.

#### 5.4 EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS EN LA PRESA DANXHÓ

En la muestra 6 de agua en la orilla de la presa Danxhó no se detectaron concentraciones de plomo ni de cadmio, debido a que las partículas de metal probablemente formaron hidróxidos o fueron adsorbidas por arcillas y se sedimentaron. (Oyarzun e Higuera, 2000) Sin embargo, en otra orilla de la presa (muestra 8) hay presencia de plomo disuelto aunque dentro del límite de plomo en embalse natural para uso urbano; no obstante en los metales totales rebasa la calidad de agua de embalse natural para riego. (NOM-001-ECOL-1996)

Al igual que la muestra anterior, la muestra 7 de agua en la salida de la presa presenta altas concentraciones de plomo y cadmio en metales totales, debido a la turbulencia generada en los cambios de nivel en la salida de la presa, los cuales rebasan los límites de agua de embalse natural para riego, aunque en los metales disueltos tenga la calidad para uso urbano. (NOM-001-ECOL-1996)

Esto indica que los metales suspendidos se presentan en concentraciones tan altas que las truchas se encuentran en riesgo de ingerir más de su dosis letal como se menciona en el capítulo de "Toxicidad en agua", por lo que es recomendable realizar muestras de sedimentos en la presa Danxhó.

Según los datos de viento en esta zona como se observa en la figura 4.3, las partículas con metales pesados de los sitios contaminados se han arrastrado hacia el noroeste y hacia el norte, por lo que es posible que éstas se hayan estado depositando en la presa Danxhó. Con base en los resultados de la muestra 9 de suelo localizada a unos metros de la presa, se puede confirmar que se han depositado partículas de plomo y cadmio hasta un radio aproximado de 4 km del predio donde se localizó la nave industrial. (CNA-SEMARNAT 1981-1993, INEGI 1988)

#### 5.5 EVALUACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LAS ENCUESTAS

El 70% de la población encuestada se dedica a la agricultura y cultiva productos comestibles en el terreno de su vivienda, debido a que estos terrenos se encuentran en las zonas aledañas a los sitios contaminados, esta población tiene más probabilidad de ingerir productos cultivados en tierra contaminada con metales, así como también los animales dentro del hogar.

Es importante notar que toda la población encuestada tiene animales como perros, borregos o pollos, ya que estos influyen en la dispersión de la contaminación, por ejemplo los perros que escarban en la tierra y se transportan por todo el terreno de la vivienda, pueden llevar en su cuerpo tierra contaminada con plomo y cadmio a cualquier parte de la casa o directamente a los miembros de la familia.

Los datos referentes a los problemas de salud o síntomas de intoxicación obtenidos en las 10 encuestas realizadas se presentan en la tabla 5.3. Se analizaron los datos de enfermedades familiares, de los hábitos, dieta y estado de salud de la familia, recordando que las personas más susceptibles a la presencia de metales pesados en su entorno, son los niños y las mujeres embarazadas.

Tabla 5.3 Datos y síntomas de intoxicación de la población encuestada (2002)

Encuesta	Edad	Edades de los hijos	Sin síntomas aparentes	Síntomas de intoxicación de la familia	Nivel de intoxicación			Síntomas de intoxicación de la persona	Nivel de intoxicación			Tiempo de vida de los perros (años)
					NB	NA	EC		NB	NA	EC	
A	26	7,3	✓									12
B	19	-	✓									5
C	43	21,20,18,14,12,9		• Alteraciones en aprendizaje y lectura	✓							15
D	38	22,19,17,14,10,8,5,2		• Alteraciones en aprendizaje y lectura • Diarrea • Pérdida de peso y apetito			✓	• Fractura de huesos • 2 abortos (nacieron muertos)			✓	8 • Enfermedades del animal
E	30	12,10,9,8,7		• Pérdida de apetito y peso			✓					3 • Vida corta en animales
F	36	17,13,8,3		• Irritabilidad			✓					8
G	30	9,7						• Anemia			✓	12
H	29	8,6		• Alteraciones en el aprendizaje • Leucemia	✓			• Mareos • Debilidad • Anemia • Cesárea			✓	NA
I	30	19,17,15,12,8,5						• Mareos • Presión baja			✓	5-10 • Vida corta
J	65	45,43,41,39,37,35,33						• Insuficiencia cardíaca • Cesárea			✓	20

NB - Nivel bajo  
 NA - Nivel alto  
 EC - Exposición crónica

No se obtuvo la causa de mortandad de los animales en todas las encuestas, sin embargo el tiempo de vida de los perros es un indicador de la calidad de vida que llevan y la calidad del ambiente en su entorno. Por ejemplo, las encuestas que presentan síntomas de intoxicación crónica coinciden con una corta duración de la vida de sus perros.

El propósito de las encuestas fue confirmar la posibilidad de que los sitios contaminados de Chapa de Mota están afectando a la salud de la población. El 80% de la población encuestada presentó síntomas que corresponden a las manifestaciones y efectos de intoxicación por plomo.

Cabe mencionar que los datos que se obtuvieron de las encuestas, no representan al total de la población de Chapa de Mota, para esto es necesario que se le aplique una encuesta a un mayor número de personas o que se realice un análisis de sangre por medio del Centro de Salud para determinar el

nivel de intoxicación en la población y de esta forma, la magnitud de afectación a causa de los sitios contaminados.

La tabla anterior se resume en la figura 5.9, representando el total de la población encuestada y el tipo de síntomas que presenta.



Figura 5.9 Tipo de síntomas y nivel de intoxicación que presenta la población encuestada

## CAPITULO 6 PROPUESTA DE SANEAMIENTO Y DE MANEJO DE BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO

### 6.1 PROPUESTA DE SANEAMIENTO Y SU EVALUACIÓN

La contaminación de suelo, sedimentos y lodos se reconoce actualmente como un problema serio. Por muy favorables que sean las características del ambiente, la capacidad depuradora no es ilimitada, es decir, que por ejemplo el suelo no puede asimilar, inmovilizar, inactivar y degradar todos los contaminantes que recibe y por lo tanto puede transferirlos a otros medios e incorporarlos en las cadenas alimenticias. Por ello es necesario aplicar medidas de saneamiento que se adapten a las características del suelo y eliminen los agentes externos que resultan tóxicos por sus características. (García y Dorronsoro, 2000)

Se presentan algunos métodos para el saneamiento de suelos contaminados.

- ⊗ Remoción de los suelos contaminados y reemplazo con suelos no contaminados o bien, remoción del suelo para su descontaminación y restablecimiento del suelo tratado al sitio de origen
- ⊗ Transformación geoquímica de los contaminantes en los sitios por medio de tratamiento térmico, biológico o químico
- ⊗ Técnicas de extracción y separación "in-situ"
- ⊗ Estrategias de estabilización y contención in-situ (ILMC, 2003)

En la tabla 6.1 se enlistan algunos de los tratamientos de saneamiento para suelo que, por sus limitaciones de aplicación y las características de los sitios de estudio pueden o no recomendarse.

**Tabla 6.1 Tratamientos de Saneamiento para suelo contaminado con metales**

<b>Tratamiento</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>Viabilidad</b>
Enjuague de suelo in-situ (1)	Fenoles, metales, contaminantes oleosos, solventes halogenados y aromáticos	No es aplicable en suelo arcilloso porque no es permeable y la solución no puede desplazarse fácilmente en su interior y tener contacto con el contaminante	No recomendado
Tratamiento electrocinético (2)	Para suelos de baja permeabilidad con metales y contaminantes orgánicos	Alto consumo de energía eléctrica	<u>Recomendable</u>
Precipitación/ Coagulación/ Floculación (3)	Tratamiento físico-químico ex situ para agua residual con metales	No apto para suelos	No recomendable
Fitorremediación (3) (4) (5)	Suelos con metales pesados, solventes, explosivos, petróleo crudo, PAH's y plaguicidas	Para áreas grandes es necesario un pre-tratamiento y se requiere de muchos estudios para determinar la tratabilidad, además depende de las características del suelo, clima y localización.	<u>Recomendable</u>
Intercambio de iones (3)	Metales disueltos en una solución acuosa	La mayor parte contaminada de los sitios de estudio es suelo	No recomendable
Reducción/ Oxidación Química (3)	Para contaminantes inorgánicos peligrosos en suelos, lodos y sedimentos	En un tratamiento ex situ, por lo tanto se incrementa mucho el costo por la excavación	<u>Recomendable</u>

(1) USEPA, 1996

(2) Avance y Perspectiva, Julio-Agosto 1999

(3) FRTR USEPA, 2003

(4) Wise et al. 2000

(5) Puelles, 2002

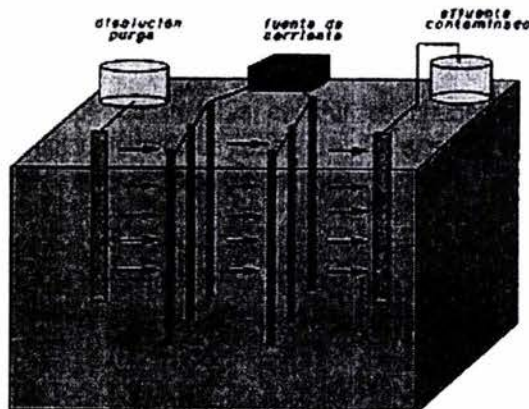
PAH's.- Hidrocarburos Poliaromáticos

Con la información presentada en la tabla anterior se pueden discernir los tratamientos adecuados para reducir la concentración de metales pesados en los sitios de estudio de Chapa de Mota. Por consiguiente se describen detalladamente estos tratamientos.

Aunque las técnicas para limpiar los sitios contaminados son caras, superando ampliamente el valor del suelo en el mercado; muchos países han comprendido que el suelo es un bien inapreciable, no traducible a valor dinero y es un recurso no renovable que se tiene que mantener sano. (Oyarzun e Higuera, 2000)

### 6.1.1 Tratamiento electrocinético

La restauración electrocinética (también llamada electrorrestauración, purgado electroosmótico, transporte electrocinético) ha sido utilizada cuando se encuentran especies orgánicas como: benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, gasolinas, acetatos, fenoles, tricloroetileno y especies inorgánicas como: iones metálicos de Zn, Hg, Cd, Ni, Pb, Cr, Cu, Fe, Ag, aniones de As, Cl<sup>-</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CN<sup>-</sup>, complejos y sustancias radiactivas en suelo con baja permeabilidad, lodos o aguas subterráneas. Esta técnica es más eficiente en arcilla debido a la carga negativa de las partículas, además si el pH es bajo como en el sitio de estudio, esto ayuda a la remoción de los metales. (Avance y Perspectiva, 1999)



Esquema del proceso de electroremediación.  
(X Domenech 1995)

Figura 6.1 Esquema de instalación para el tratamiento electrocinético

La remediación electrocinética también se ha usado en combinación con la biológica en casos en donde los contaminantes orgánicos son demasiado insolubles o tienen una relación de masa / carga demasiado grande. El calentamiento del suelo debido al paso de la corriente eléctrica, el movimiento de microorganismos en un campo eléctrico (poseen una cierta carga superficial) y la posibilidad de proveerlos de nutrientes y de oxígeno mediante el líquido añadido en la remediación electrocinética, hacen que estas tecnologías puedan combinarse bien. Asimismo, la corriente eléctrica impuesta puede dirigir el movimiento de los microorganismos para efectuar localizadamente su acción de remediación. (Avance y Perspectiva, 1999)

El tratamiento electrocinético a diferencia del lavado que apenas actúa sobre los microporos del suelo, se basa en el paso de una corriente eléctrica a través de electrodos enterrados estratégicamente en el suelo, lo cual origina el transporte masivo de contaminantes de un electrodo a otro a través de poros grandes y pequeños siguiendo la dirección del campo eléctrico, esto se debe a los fenómenos:

electroforesis, electroósmosis y electromigración; para favorecer el movimiento de los contaminantes se puede añadir una solución como se muestra en la figura 6.1. En la figura 6.2 se observan las fases de los contaminantes en el tratamiento electrocinético de suelo. (Avance y Perspectiva 1999, García y Dorronsoro 2000)

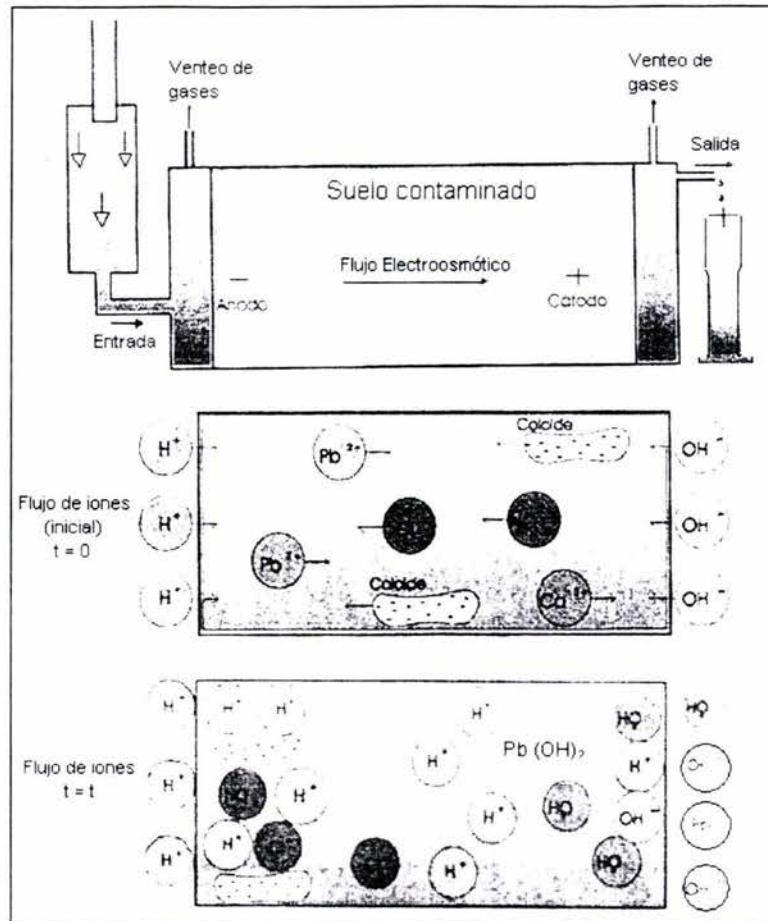


Figura. 6.2 Tratamiento electrocinético de suelos.

La electroforesis consiste en el movimiento de partículas cargadas (coloides) bajo la influencia de un campo eléctrico. Los cationes van hacia el cátodo mientras que los aniones lo hacen hacia el ánodo, ambos son extraídos posteriormente. (García y Dorronsoro, 2000)

La electroósmosis consiste en el movimiento del solvente (normalmente agua) dentro de los poros del suelo, debido a la formación de una doble capa eléctrica entre las cargas de las partículas sólidas de la superficie y los dipolos del solvente. El campo eléctrico externo atrae al solvente, el cual puede acarrear a las especies disueltas. Las cargas negativas que predominan en el suelo atraen al líquido hacia el cátodo. Este fenómeno se ha utilizado desde hace medio siglo para la remoción de humedad, tanto de suelos, como de paredes y techos. En la actualidad se usa también para eliminar agua de sitios de disposición de residuos sólidos municipales. La electromigración consiste en el movimiento de especies iónicas en la fase líquida hacia el electrodo de carga opuesta. (Avance y Perspectiva, 1999)

Esta tecnología se ha aplicado en distintos lugares del mundo que han probado su eficiencia y en algunos solamente a nivel piloto, pero que han demostrado la disminución de la concentración de plomo de 4,500 mg/kg a menos de 300 mg/kg en 30 semanas mediante tratamiento electrocinético. (USARMY – Louisiana University 1996 citado por FRTR USEPA, 2003)

Los costos varían dependiendo de la cantidad de suelo a tratar, de la conductividad y de la separación de los electrodos. Solamente se proporciona un estimado de la energía necesaria para la extracción de metales de 500 kWh/m<sup>3</sup> o más, con una separación de electrodos de 1 m ó 1.5 m. Aproximadamente se estiman \$150/m<sup>3</sup> que sugiere un costo de energía de \$0.3 por kWh más el encarecimiento, lo que resulta es un costo de \$500/m<sup>3</sup>. Un estudio reciente a gran escala estima un costo de \$1,170/m<sup>3</sup> y menciona que esta tecnología puede ser muy competitiva. (FRTR, 2003)

### 6.1.2 Reducción/oxidación química (redox)

Esta técnica convierte los contaminantes inorgánicos peligrosos a no peligrosos o a compuestos menos tóxicos, más estables, con menos movilidad y/o inertes. Los agentes oxidantes más comúnmente utilizados son el ozono, peróxido de hidrógeno, hipocloritos, cloro y dióxido de cloro. (FRTR 2003)

Las reacciones redox transfieren electrones de un compuesto a otro, un reactivo es oxidado (pierde electrones) y otro es reducido (gana electrones). La figura 6.3 muestra el proceso de limpieza de un suelo contaminado por medio de esta técnica. (FRTR 2003)

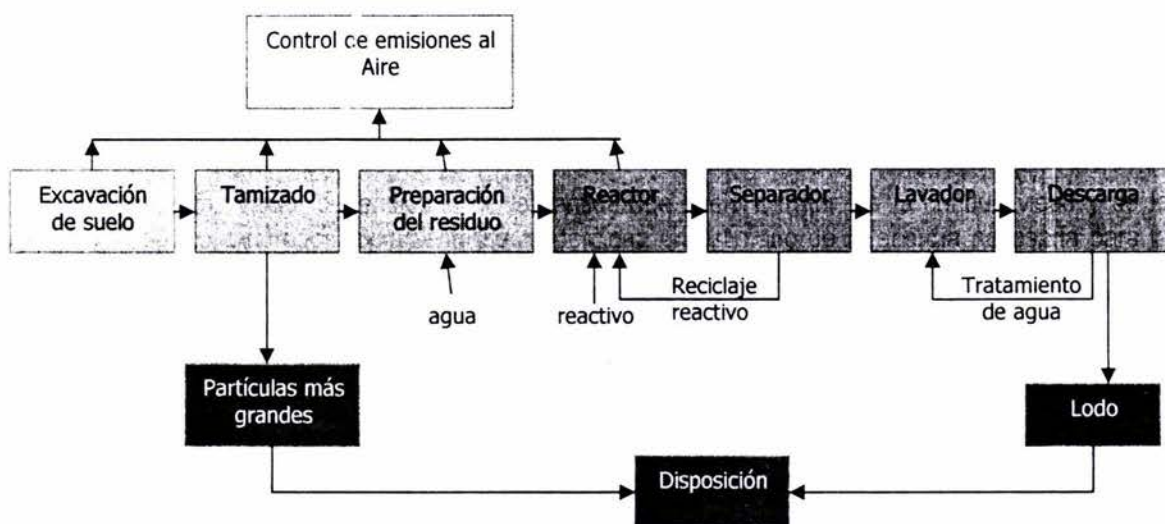


Figura 6.3 Diagrama del proceso de reducción / oxidación química

Los parámetros necesarios para conocer la tratabilidad del suelo contaminado son: alcalinidad, cantidad de materia orgánica, humedad, si tiene diferentes capas el suelo, y los factores que limitan la efectividad y aplicabilidad de esta técnica son: (FRTR, 2003)

- La oxidación o formación incompleta de contaminantes intermedios puede ocurrir dependiendo de los contaminantes y agentes oxidantes utilizados.
- El costo de la tecnología aumenta mucho si se trata de altas concentraciones de contaminante, ya que se requieren también grandes cantidades de agente oxidante.
- Los aceites y la grasa en el medio pueden minimizar la eficiencia del proceso.

Los costos estimados están en un rango de \$1,900 a \$6,600 por metro cúbico; la factibilidad de la excavación del suelo contaminado y su costo, se deben tener presente cuando se va a tomar una solución. (FRTR, 2003)}

En un caso similar a este estudio, en Tijuana, Baja California, la fundidora de plomo Metales y Derivados abandonó en sus instalaciones 6000 toneladas métricas de escorias de plomo, montones de residuos y subproductos como ácido sulfúrico y metales pesados provenientes de las operaciones de reciclaje de acumuladores. La tecnología propuesta para el saneamiento del sitio fue la precipitación y estabilización química (oxidación), desarrollándose dentro del predio y obteniendo un material insoluble con forma de pequeñas cápsulas para reutilizarlas como relleno, estimándose un costo total aproximado a \$6,201,015.49 y un monto de recuperación o ahorro aproximado de \$10,086,808.10. (CCA, 2002)

### 6.1.3 Fitorremediación

Se trata de una técnica más limpia, simple, efectiva y de menor costo en relación con los métodos físico-químicos. También permite la eliminación selectiva del contaminante y su recuperación para usos futuros. (Puelles, 2002)

La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas para remover metales, plaguicidas, petróleo crudo, PAH's, explosivos en suelo y sedimentos. Algunas plantas tienen la capacidad de almacenar metales en sus raíces si se plantan en el medio contaminado. El mecanismo de remediación puede ser por: Rhizo-filtración o biodegradación de la Rizosfera, fito-extracción (también llamada fito-acumulación), fito-degradación y fito-estabilización. (FRTR, 2003) En estos mecanismos se presentan estos procesos: lignificación, volatilización, metabolización y mineralización. (Iturbe-Argüelles, 2002)

Gracias a las características del suelo de Chapa de Mota, los metales que se encuentran en el suelo están más disponibles, y éste es un factor importante que ayuda al proceso de fitorremediación. (Wise, 2000)

En la fito-acumulación, las raíces de las plantas toman los contaminantes y los acumulan (fito – extracción) en los retoños o tejidos de las plantas. La fito-degradación es el proceso metabólico de los tejidos de las plantas con los contaminantes. Las plantas producen enzimas como la deshalogenasa y la oxidasa, las cuales sirven como catalizadores para la degradación. (FRTR 2003, Iturbe-Argüelles 2002)

Finalmente la fito-estabilización es un fenómeno de producción de compuestos químicos por la planta para inmovilizar los contaminantes en la interfase raíz-suelo y que no migren hacia el agua subterránea. Algunas plantas son hiper-acumuladoras, esto es, que pueden remover y almacenar grandes cantidades de metales. (FRTR 2003, Iturbe-Argüelles 2002)

La técnica de fitorremediación también tiene sus limitaciones, como: (FRTR 2003)

- La profundidad de la zona de tratamiento la determina el tipo de planta empleada, aunque en la mayoría de los casos está limitado por la profundidad del suelo.
- Altas concentraciones de sustancias peligrosas pueden ser tóxicas para las plantas.
- Su plantación depende también de la estación del año.
- Se puede transferir contaminación del suelo al aire.
- Esta técnica no es efectiva para absorber PCBs (Bifenilos Policlorados)
- La toxicidad de los productos de la biodegradación no siempre se pueden conocer.



- Los productos de la biodegradación pueden bioacumularse en los animales que ingieran las plantas.

Los datos que se deben tomar en cuenta para realizar las pruebas de tratabilidad del suelo con esta técnica, son: el movimiento del agua en el sitio, cantidad de oxígeno, crecimiento, estructura de la raíz a utilizar y la concentración del contaminante en el medio. (FRTR, 2003)

La US AFC (Air Force Center of United Status) en un proyecto estimó el costo de la fitorremediación de suelo contaminado con plomo de 4000 m<sup>2</sup> con una profundidad de 50 cm, es alrededor de \$600, 000 a \$1,000,000, si se considera la excavación y la plantación en el mismo volumen sería de \$4,000,000. (FRTR, 2003)

El proceso de fitorremediación se divide en cuatro fases: (Complutense, 2003)

- 1.- Cultivo hidropónico: germinar directamente sobre el medio acuoso contaminado. El objetivo es conocer la capacidad así como determinar las zonas de acumulación.
- 2.- Cultivo en sustrato sólido inerte (tipo arena) previamente contaminado: Se determinan las cantidades acumuladas en cada parte de la planta a distintos intervalos de tiempo. También se estudia la adición de sustancias que permitan aumentar la movilidad de los metales en el suelo y favorezcan su desplazamiento a lo largo de la planta.
- 3.- Cultivo en los suelos contaminados de los sitios de estudio (piloto): Ésta fase es necesaria ya que las características del suelo influyen en los procesos de transporte ya señalados.
- 4.- Aplicación a gran escala: En esta etapa se procede al cultivo; es necesario realizar análisis periódicos con el fin de evaluar el proceso de descontaminación y, si es necesario, se realizarán varias cosechas.

Existen especies que acumulan plomo y cadmio, aptas para utilizarse en la fitorremediación como se muestran en la tabla 6.2, para cada una de ellas se tienen que realizar pruebas de tratabilidad con el suelo de los sitios contaminados de Chapa de Mota. Si bien se siguen explorando plantas que pueden servir para degradar algunos contaminantes sin que sean tóxicos para éstas.

**Tabla 6.2 Especies de plantas acumuladoras de metales**

Especie de planta	Elemento que hiperacumula	Lugar donde se acumula el elemento
Lupino o Altramuz (Leguminosas) (1)	Plomo, cadmio, cromo	Se acumula en raíz
Mostaza de la India, Girasol (Helianthus agnus), Cebada, Ortiga, Diente de León (4)	Plomo, cadmio, zinc, níquel, cobre	En los tejidos de la planta
Árboles featófitos: Sauce Ahuejote (Salix Bompadiana), Olmo, Ahuehuete. De clima húmedo, cercanos a ríos o arroyuelos (3) (4)	Plomo, cadmio, zinc, arsénico, cobre, cromo, selenio, uranio, PAH's, PCB's, dioxinas, furanos, DDT, dieldrin	En raíz larga fibrosa con pelos absorbentes, después se precipita y por lo tanto es menos disponible
Pasto vertivera cezanoide (3) (4)	Humedad, salinidad, metales	
Discaria Americana (leñosa Dicotiledónea) nativa de Argentina (2)	Zinc 6000 ppm	Se fija en la raíz
Thlaspi caerulescens (5)	Cadmio y Zinc	Retoños

(1) Complutense, 2003

(2) Puelles, 2002

(3) Blancas, 2003

(4) Wise, 2000

(5) Li Yin, et al 1998

Los lupinos o altramuces se adaptan a suelos de baja calidad, a distintos climas, a suelos ácidos, su especie se ha extendido por los estados del golfo de México, por lo que es posible su cultivo en cualquier parte del mundo. El altramuz tiene virtudes emolientes, antidiabéticas, diuréticas y cicatrizantes. Muchas especies contienen un alcaloide tóxico llamado lupinina, por lo que se debe tener cuidado en la ingestión de esta especie porque puede causar fiebre y postración pasajera a los animales de pastoreo. Los resultados obtenidos en una investigación con lupinos en una tierra contaminada con 1000 µg de cada elemento, en un lapso de 7 días mostraron que la acumulación de Hg fue del 85% mientras que la de Cd, Pb y Cr ascendió al 100%; la mayor parte de los metales se encontraban en la raíz, aunque puede ser poco tiempo para ver un gran desplazamiento de los metales. Las plantas fueron capaces de modificar el pH del medio de 2.5 a neutro. Cabe destacar que el aspecto de las plantas crecidas en presencia de los metales fue tan bueno como el que presentaban los testigos. (Complutense, 2003)

El tiempo que tardará en descontaminar el sitio empleando esta técnica, depende de diversos factores: (USEPA, Diciembre 2001)

- Tipo y cantidad de plantas que se emplean
- Tipo y cantidad de sustancias químicas dañinas presentes
- Dimensión y profundidad de la zona contaminada
- Tipo de suelo y condiciones imperantes

Los factores antes mencionados varían de un sitio a otro. Hay que considerar también que se tienen que reponer las plantas destruidas por las condiciones del tiempo o los animales y las que llegan a su límite de tolerancia de metales; cuando se disponga de estas es necesario que se manejen como residuo peligroso por contener metales pesados. A menudo la eliminación de los contaminantes demora muchos años, aunque esta técnica requiere de una menor inversión y previene la erosión del suelo. (USEPA Diciembre 2001, Wise et al 2000)

## 6.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LA POBLACIÓN CERCANA A LOS SITIOS CONTAMINADOS POR BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO

Las autoridades tienen el compromiso de impedir el acceso a cualquier persona al sitio, para evitar el contacto y la dispersión de los contaminantes, que pudieran causar repercusiones peligrosas en la salud pública y el medio ambiente. Además de prevenir que el ganado no se alimente o habite dentro de estos terrenos; ya que al pastar en tierras que contienen estos metales, pueden ingerir hierba contaminada con estos metales y en consecuencia bioacumularse en la leche, carne o sus productos; los cuales son ingeridos posteriormente por la población.

Si la población ha estado en contacto con objetos de los terrenos contaminados, vive cerca de estos sitios y/o presenta los síntomas de intoxicación por plomo mencionados en el capítulo de Toxicidad, debe acudir inmediatamente al Centro de Salud para que le realicen los análisis correspondientes de determinación de plomo o causa de su malestar.

En caso de presentar niveles altos de plomo en sangre que rebasen la NOM-199-SSA1-2000 antes citada, es conveniente que toda la familia acuda a realizarse los mismos análisis y detectar la fuente de envenenamiento por plomo, ya sea en el hogar o cercana a éste.

Cuando se detecta la fuente de exposición al plomo, se aconseja su eliminación o, de no ser posible, evitar el contacto continuo o directo a la fuente, usando ropa de protección como: guantes, botas, overol; que posterior a su uso deben lavarse independientemente para no contaminar otros objetos, además de lavarse el cuerpo con agua y jabón después del contacto y sobre todo antes de ingerir alimentos.

Es indispensable que a las personas que nacieron desde 1970 hasta el año 2003 se les lleve o se dirijan al Centro de Salud para realizarles un análisis de plomo en sangre, debido a que en estos años se presentaron altas concentraciones de plomo en el ambiente de Chapa de Mota, lo mismo aplica para las personas que laboraron en la Industria recuperadora de metales.

Es importante que en la dieta diaria haya alto contenido de calcio y hierro ya que, los efectos de intoxicación son más graves cuando no se tiene una dieta balanceada.

## 6.3 DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE BATERÍAS ÁCIDO-PLOMO

Como se menciona anteriormente, el suelo se hace más vulnerable conforme se vierten más contaminantes en éste, por lo que es necesario evitar que se siga propagando la contaminación de metales debido a los residuos mal dispuestos. Por ende, las cajas de baterías ácido-plomo que se encuentran abandonadas en los sitios estudiados de Chapa de Mota, se pueden vender como combustible secundario por su contenido en ebonita y ser utilizados también como agente reductor en los hornos de producción secundaria de plomo. (ILMC, 2003)

Se enlistan en la tabla 6.3 algunas empresas propuestas que compran acumuladores usados y cajas de baterías o las disponen de forma adecuada. Aunado a que se remueven los residuos de baterías en Chapa de Mota, se les da un buen uso y se puede obtener una ganancia monetaria, aunque sea para solventar la transportación de estos.

**Tabla 6.3 Empresas de Recolección y Transporte de Residuos Peligrosos**

<b>Empresa</b>	<b>Dirección</b>	<b>Compra</b>	<b>Limitación</b>
Acumuladores Anáhuac S.A. de C.V.	Mariano Escobedo No. 67-A Col. Anáhuac C.P. 11400 D.F. Tel. 5715 3703	\$ 5 M.N. acumulador usado chico \$ 10 acumulador usado grande valoración de las cajas y compra	Debido a la distancia, los residuos se tienen que transportar a la dirección de la Empresa Recolectora
Acumuladores Mexicanos S.A. de C.V. (Pta. Tlaxcala)	Km. 24 Carretera Tlaxcala-Puebla Col. San Francisco, Tlaxcala Tel.9122 81 01 77	Verificar precio	La distancia es aún mayor del sitio de Chapa de Mota a la Empresa
Pilas al Reciclaje S.A. de C.V.	10 de Abril de 1859 Lote 1720 Mz. 155 Col. Leyes de Reforma 3a sección, Iztapalapa D.F.	Verificar precio	Es solamente acopio y la distancia a la empresa es grande
Química Wimer S.A de C.V.	Tecamazuchitl s/n Col.Amp. Sta. Catarina Valle de Chalco, Estado de México, Tel. 58600203	Verificar Precio	Probablemente cobren por recolectar y tratar los residuos

SEMARNAT, 2003

#### 6.4 PROCESO LIMPIO EN UNA INDUSTRIA DE RECICLAJE DE BATERÍAS

Para la prevención y control de la contaminación del suelo hay que tener en cuenta el artículo 134 "Protección al Ambiente", del Título Cuarto Capítulo IV de la LGEEPA y considerar los siguientes criterios:

- I. "Corresponde al Estado y 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 reuso 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 sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar, y*
- 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."*

Antes de su ingreso en la planta de reciclaje, los acumuladores usados deben ser cuidadosamente recolectados, transportados y almacenados, para evitar contaminación sanitaria y ambiental. (GTT, 2002)

##### 6.4.1 Recolección

Es necesario contar con una infraestructura apropiada y eficiente de recolección, ya que afecta a diferentes sectores de la sociedad, casas de compraventa de acumuladores y/o chatarra, procesadoras secundarias de plomo, así como consumidores. (GTT, 2002)

El mejor proceso de recolección de acumuladores usados es el sistema de distribución y recolección de los fabricantes, comerciantes minoristas, y otros puntos de venta que guardan los acumuladores viejos para enviarlos a plantas de reciclaje. En los puntos de recolección deben aplicarse ciertas medidas de control en el manejo de las baterías usadas para evitar accidentes. (GTT, 2002)

- ⊗ El drenaje de los acumuladores no debe realizarse en los puntos de recolección, ya que se requieren herramientas, contenedores, equipo de seguridad especiales, además de personal capacitado. (GTT, 2002)
- ⊗ Los acumuladores deben almacenarse en lugares adecuados, por ejemplo, en un contenedor resistente a los ácidos, que puede sellarse, apilarse fácilmente y utilizarse también en el transporte, protegido de la lluvia y de otras fuentes de agua y si es posible, de fuentes de calor.
- ⊗ El piso del lugar de almacenaje debe estar aislado, con plástico u otro material resistente a los ácidos, retener los ácidos y conducirlos a un contenedor de recolección. Además de tener un sistema de escape de gases, o un sistema de rápida renovación del aire, para evitar la acumulación de gases peligrosos. Debe ser de acceso restringido, y estar identificado como lugar de almacenaje de materiales peligrosos.
- ⊗ Los acumuladores con escapes del electrolito, deben almacenarse en contenedores resistentes a los ácidos.
- ⊗ Todo otro material de plomo que pueda estar presente, por ejemplo en cañerías, debe ser embalado y almacenado en forma adecuada de acuerdo con sus características.
- ⊗ Contar con equipo adecuado de lucha contra el fuego. Debe tenerse en cuenta que accidentes de otro género pueden hacer que los acumuladores se inflamen, debido a su alto contenido de carbono.
- ⊗ No se deben almacenar grandes cantidades de acumuladores usados ni tampoco hacerlo durante tiempo excesivo, ya que se incrementa la probabilidad de accidentes.
- ⊗ Los acumuladores gastados deben venderse solo a fundidoras o empresas recolectoras de residuos peligrosos autorizadas por la Secretaría.

#### 6.4.2 Transporte

Los acumuladores de ácido-plomo usados son considerados residuos peligrosos y cuando se transportan se debe cumplir con la normatividad requerida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT. El transportista debe adoptar las medidas de control para evitar accidentes, derrames, así como estar capacitado para actuar apropiadamente en caso de emergencia como incendio, derrame, además de contar con equipo específico y de protección individual en buenas condiciones. (GTT, 2002)

El vehículo que transporte este material debe estar identificado con los rombos de seguridad internacionales respectivos como se muestra en la figura.6.4 para indicar que son productos corrosivos y peligrosos. (NOM-004-SCT-2000)

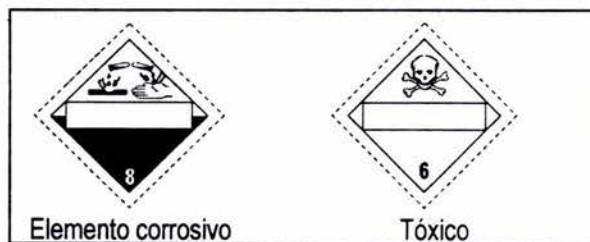


Figura 6.4 Símbolos de identificación para transporte de las baterías ácido-plomo

El transporte de desechos peligrosos debe realizarse siempre previendo posibles accidentes u otros problemas específicos, lográndose con la planeación y cumplimiento de la ruta y horario conveniente.

#### 6.4.3 Almacenamiento

Las medidas de protección son muy similares a las que se aplican en los puntos de recolección, variando solamente la cantidad que se almacena, por lo que se debe adoptar medidas más estrictas. (GTT, 2002)

- ⊗ Los acumuladores deben ser drenados para obtener mejores coeficientes de reciclaje y disminuir problemas ambientales. El electrolito debe ser conducido a la estación de tratamiento y los acumuladores deben almacenarse vacíos.
- ⊗ Los acumuladores deben ser almacenados en un lugar cubierto, el almacenaje en contenedores ya no resulta práctico en la planta de reciclaje, ya que en esta etapa los acumuladores deben ser clasificados, identificados y cuidadosamente separados. Este lugar de almacenamiento debe cumplir con las mismas características para los sitios de recolección antes mencionadas.

Cabe mencionar que estas consideraciones generales deben adaptarse a las necesidades específicas de cada planta de reciclaje. Se recomienda adoptar métodos más restrictivos y cuidadosos.

#### 6.4.4 Reciclaje

El proceso de trituración antes del proceso de reciclaje es favorable porque: (GTT, 2002)

- ⊗ Se incrementa la producción de plomo y se reduce la formación de escoria.
- ⊗ Se crea la posibilidad de producción de plomo blando, así como de plomo antimónico.
- ⊗ Cabe la posibilidad de recuperar polipropileno.
- ⊗ Se simplifica el tratamiento de humos del horno.

El electrolito debe ser tratado antes de disponerlo al ambiente, una opción es neutralizar la solución con carbonato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ó carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ , esto sirve para precipitar todo el plomo presente como  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  este compuesto posteriormente se separa por decantación o filtración para reciclarlo nuevamente, la solución restante de sulfato de sodio diluido en agua  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  o yeso  $\text{CaSO}_4$  puede ser purificada aún más y venderse. Otra opción es la extracción líquido-líquido, esta tecnología permite producir ácido exento de plomo que puede utilizarse nuevamente como electrolito. Aunque el electrolito se haya neutralizado, se debe manejar, almacenar y disponer como sustancia peligrosa. (GTT, 2002)

Durante la fundición para la obtención del plomo, es necesario controlar las emisiones utilizando el equipo adecuado para evitar que se liberen al ambiente contaminantes, tales como: (GTT, 2002)

- ⊗ Los humos a altas temperaturas que salen por la boca del horno y los provenientes del sistema de producción de lingotes, con alto contenido de metal, son fácilmente absorbidos por el organismo humano. Cuanto más fino es el polvo requiere tecnología más especializada para eliminarlo. Hay una amplia gama de alternativas, que deben evaluarse en función de la eficiencia, de limpieza y del presupuesto: filtros de tela o de bolsas que deben reciclarse posteriormente (hasta un 65% de plomo), precipitadores electrostáticos, precipitadores electrostáticos húmedos, quemadores de

ciclón, filtros de cerámica y sistemas de barrido húmedo. Como tendencia general, todo el polvo recogido se regresa a la planta de fundición para su recuperación.

- ⊗ *Emisiones de dióxido de azufre SO<sub>2</sub>* El porcentaje de azufre proveniente de determinada cantidad de carga de chatarra de plomo depende, en gran medida del horno y del tipo de material colado que se forma. La ebonita tiene un contenido de azufre de 6% a 10%, que puede contribuir a la emisión de SO<sub>2</sub> si se agrega al horno. La remoción del cobre mediante el agregado de azufre elemental puede producir grandes cantidades de SO<sub>2</sub>, ya que el azufre se oxida fácilmente en presencia de oxígeno a las temperaturas del horno.

*Equipo de control de dióxido de azufre SO<sub>2</sub>* Su eliminación puede realizarse por varias vías, como procesos en seco, semisecos, semihúmedos y húmedos, y una alternativa sencilla consiste en la utilización de sistemas de barrido húmedo con carbonato de calcio como reactivo, que producen carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub> y yeso sulfuroso. Este compuesto a su vez puede venderse o usarse en el horno como reactivo. Aun después del filtrado y la eliminación del polvo, los gases contienen, sin embargo, vestigios de polvo y de SO<sub>2</sub>.

- ⊗ *Liberación de cloro gaseoso:* La eliminación de estaño Sn mediante cloro gaseoso Cl<sub>2</sub> constituye un proceso sumamente delicado que cuando el suministro de cloro no se controla bien puede liberar el gas venenoso al ambiente. Y si la eliminación es mediante aire enriquecido con oxígeno (O<sub>2</sub>). La consecuencia es que el gas burbujea violentamente en la superficie de los metales, liberando polvos y vapores metálicos.

En una planta de reciclaje de plomo moderna, el costo en equipos para evitar la contaminación, tales como planta de tratamiento de agua, equipo para el control de polvos, humos y el SO<sub>2</sub>, representa entre el 20% y el 30% del costo total de la inversión. (GTT, 2002)

Además, cada planta de reciclaje de plomo debe tener una planta de tratamiento de efluentes incluyendo los que provienen de la neutralización del electrolito, el agua de lluvia, el agua de derrames del lugar de almacenaje de los acumuladores de modo de controlar, proteger y mejorar su calidad.

Cabe mencionar algunas medidas para reducir posibles errores de procedimiento y accidentes, conjuntamente a la capacitación de los trabajadores para su seguimiento. Sin embargo el industrial debe añadir las que crea necesarias para sobre todo cuidar el bienestar de los trabajadores y el ambiente.

- ⊗ Equipo de protección individual EPI: en cada sección de la planta deben existir medios de identificación claros y visibles del EPI que el trabajador debe utilizar mientras se encuentra en ella.
- ⊗ Prohibir que se fume en el lugar de trabajo.
- ⊗ Separar las zonas de trabajo de los comedores.
- ⊗ Hacer cumplir la obligación de ducharse al final de la jornada de trabajo junto con el cambio de ropa.
- ⊗ Cambio y lavado diarios de la ropa de trabajo.
- ⊗ Revisión y limpieza diarias de los respiradores.
- ⊗ Todos los trabajadores deben someterse a controles sanitarios y debe llevarse un registro. La población de las zonas circundantes también debe someterse a revisiones periódicas.

---

## CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES

- ✓ En el suelo y en los cuerpos de agua de los sitios de estudio, se encontró la presencia de plomo y cadmio en concentraciones tales que rebasan los límites establecidos en la normatividad nacional para el ambiente y la salud.
- ✓ Las concentraciones medias de plomo y cadmio total en el suelo del predio de la nave industrial fueron de 1216.60 mg/kg y 4.43 mg/kg, respectivamente, la concentración más alta de plomo fue de 2500 mg/kg y se encontró en una zona con escoria, con metal aleado a rocas y de escasa vegetación. Mientras que en el predio donde están depositados los residuos de baterías, las concentraciones medias de plomo y cadmio total fueron de 188.36 mg/kg y 3.34 mg/kg, respectivamente; la concentración más alta de plomo fue de 600 mg/kg localizada a 1 m pendiente abajo del montículo de residuos, los cuales poseen una concentración de 7000 mg/kg de plomo. Definitivamente, el viento, la lluvia, la topografía y las corrientes de agua en la zona de estudio, han contribuido en gran medida a la lixiviación y dispersión de los metales hacia el suelo, el agua de ríos así como de la presa Danxhó y hacia sitios aledaños.
- ✓ Dado que el promedio aritmético del pH del suelo es de 3.83, los metales se encuentran más solubles y más disponibles para plantas y organismos, por esta razón es pertinente analizar la concentración de metales en las raíces y hojas de plantas de la zona. Gracias al alto contenido de arcilla y materia orgánica del suelo existe mayor capacidad de intercambio catiónico con los metales, por lo que éstos se fijan en las posiciones de adsorción más fuertes, forman complejos y en consecuencia, se restringe su movilización o liberación a capas de suelo más profundas.
- ✓ Debido a que en las muestras de agua de la presa Danxhó existen metales en solución, así como metales suspendidos en forma de coloides o precipitados, es conveniente realizar un muestreo de sedimentos en diferentes puntos de la presa para determinar la magnitud del impacto del arrastre de agua o de emisiones que se generaron por años en los sitios contaminados.
- ✓ No obstante que el área de estudio de Chapa de Mota ha sido contaminada por la actividad industrial, no es posible que la empresa generadora aplique un saneamiento como lo sugiere la LGEEPA y la ley de aguas nacionales, ya que la industria fue instalada y clausurada antes de la expedición de estas leyes. Sin embargo, es importante tratar o disponer adecuadamente los residuos peligrosos abandonados, tomando las medidas necesarias para impedir que los metales se sigan lixiviando al suelo o sean transportados hacia los cuerpos de agua.
- ✓ En un radio de aproximadamente 4 km de la nave industrial, se han encontrado concentraciones de plomo y cadmio, aunque en los puntos más alejados éstas no son mayores que los límites máximos permisibles que la NOM-021-RECNAT establece, pero en esta área se encuentran casas habitación, terrenos de cultivo y la presa Danxhó, por lo que se presume que así como en la presa hay zonas donde las concentraciones son riesgosas para la salud y en otras no lo son, en las viviendas y en los terrenos sucede lo mismo. El área contaminada con riesgo a la salud se establece de 1.05 ha en el predio de la nave industrial y de 1.2 ha en el predio con residuos de cajas de baterías. Se considera una profundidad de limpieza de 40 cm que incluye un margen de seguridad, aunque es conveniente realizar un muestreo de suelo a mayor profundidad en las zonas más contaminadas, para determinar el nivel de limpieza con mayor precisión.



- ✓ Es importante mencionar que la mayor parte de la población se dedica a la agricultura o tiene cultivo de árboles frutales, vegetales, hierbas y maíz en el terreno de su casa, por lo que existe riesgo de contaminación de metales pesados en los alimentos que se cosechan y esta puede ser otra fuente de intoxicación para la población.
- ✓ El 80% de las encuestas realizadas en la población del municipio, reflejan manifestaciones de intoxicación con niveles bajos y altos de plomo, sobre todo en niños entre los 3 y los 14 años, aunque el 30% manifestaron intoxicación por exposición crónica al plomo, advertidas por efectos como irritabilidad, diarrea, anemia, pérdida de peso y apetito. Esto refleja que, existe la posibilidad de que los sitios contaminados estén provocando efectos nocivos en la salud. La magnitud en que la población es afectada por estos metales solamente se concreta con encuestas o análisis clínicos que la Secretaría de Salud junto con Protección Civil del municipio realicen a un mayor número de habitantes. Es imprescindible la labor de informar a la población del riesgo que existe en los sitios contaminados, implementar medidas preventivas para evitar envenenamiento por metales, y seguimiento o tratamiento a las personas que presenten síntomas de intoxicación.
- ✓ Es recomendable llevar al laboratorio muestras de suelo contaminado y realizarle pruebas de tratabilidad con las técnicas propuestas en el capítulo 6 para su limpieza, determinando la eficiencia de cada técnica y así elegir la más adecuada para el tipo de suelo en estudio. Además, se considera que el beneficio de una población saludable, un ambiente limpio de metales en suelo, aire y agua es mucho mayor que el costo de cualquier tratamiento para mantenerlo de esta forma.
- ✓ Los sitios como el estudiado son un claro ejemplo de negligencia de los tomadores de decisiones. En el momento de tomar cualquier decisión, es necesario emplear el criterio social, económico y ambiental para visualizar de qué forma repercutirá esta acción en toda la diversidad de especies y recursos naturales, además de comprometerse para que las acciones realizadas lleven al desarrollo sustentable.
- ✓ En casos similares posteriores al estudiado debe aplicarse por parte de las dependencias competentes el artículo 104 de la LGEEPA que menciona *“la introducción y generalización de prácticas de protección, restauración de los suelos y estudios de impacto ambiental previos al cambio del uso del suelo, para evitar el deterioro de suelos y el desequilibrio ecológico en la zona.”* Además de que toda persona podrá denunciar ante la Secretaría u otras autoridades según su competencia, todo hecho, acto u omisión que produzca desequilibrio ecológico o daños al ambiente, contraviniendo las disposiciones de la LGEEPA y del artículo 63 del Reglamento de LGEEPA en materia de residuos peligrosos.
- ✓ El cambio de actividad de los usos de suelo como el de los sitios abandonados debe ser regulado para evitar acciones negativas hacia la salud de la población y el ambiente. Crear conciencia entre los dueños de los predios industriales que son abandonados o se venden sin indicar el riesgo que conlleva es una labor que a corto plazo se debe de comentar en grupos de trabajo y responsables de elaborar las normas pertinentes. La cooperación del gobierno es necesaria para resolver las barreras legales y facilitar la implementación de medidas correctivas o de saneamiento en los sitios contaminados.

---

## FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway B.J., "Heavy Metals in Soils", Edit. Chapman and Hall 2ª edición, Gran Bretaña 1995.
- APHA-AWWA-WPCF, "Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas potables y Residuales", 1989
- ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry Information Center, "Public Health Statement for Lead" Division on Toxicology, Atlanta junio 2001 [www.atsdr.cdc.org/toxprofiles/phs13.html](http://www.atsdr.cdc.org/toxprofiles/phs13.html)
- Avance y Perspectiva, "Tratamiento electrocinético de suelos contaminados", Gaceta Julio-Agosto México 1999
- Blancas L. F. J., Curso de Jardinería, Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, 2000
- CCA, Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, "Expediente de hechos final Metales y Derivados" Derecho y políticas ambientales en América del Norte, Québec Canada, 2002
- CCME Canadian Council of Ministers of the Environment, "Guidance Manual on Sampling, Analysis and Data Management for Contaminated Sites Volumen I: Main Report", The National Contaminated Sites Remediation Program, Report CCME EPC-NCS62E, Diciembre 1993
- CCME Canadian Council of Ministers of the Environment, Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines, 2002
- CEPIS, "Contaminación del Aire en Interiores: una Introducción para los profesionales de la salud", tomado de: American Lung Association / USEPA / Consumer Product Safety Comisión / American Medical Association, Febrero 1999
- CES-IISC Centre for Ecological Sciences, Indian Institute of Science, Bangalore India, 2002  
[www.ces.iisc.ernet.in](http://www.ces.iisc.ernet.in)
- CMP+L-UNEP Centro Mexicano para la Producción más Limpia - United Nations Environment Programme, "Environmental Technological Issues Related to Lead-Acid Battery Recycling", 1994
- CNA Comisión Nacional de Agua, "Manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos", SARH, México 1994, pp. 98-105
- CNA Comisión Nacional de Agua, "Calidad requerida para uso o aprovechamiento del agua", Subdirección general de administración del agua, cartel publicado en 1993
- CNA – SEMARNAP, "Boletín hidrológico", Gerencia regional de Aguas del Valle de México, Gerencia Técnica. 1981, 1986, 1988, 1990, 1991, 1992, 1993
- CNPMLTA National Center of Cleaner Production and Environmental Technology with the support of the University of Antioquia, "Basel Study in Central America and the Caribbean Report of Colombia Project". Ministry of the Environment of Colombia, 1998

- Complutense Universidad de Madrid, "Recuperación de Suelos Contaminados con metales mediante plantas: Fitorremediación", Depto. de Química Analítica, Facultad de C.C. Químicas, España 2003 Cotton F. A. y Wilkinson G., Química Inorgánica Avanzada, 2ª edición Edit. Limusa -Wiley, S.A., 1973, pp. 483-510
- Cotton F. A. y Wilkinson G., "Química Inorgánica Avanzada", 1ª edición Edit. Limusa -Wiley, S.A., 1978, pp. 307-315, 576-579
- Davies B.E., Geoderma 29,1983, pp.67-75
- Dreisbach, "Manual de Toxicología Clínica", pp.227-231, Edit. El Manual Moderno, 1998
- Environmental Canada Hazardous Waste Division, "Guidelines for the Management of Used Lead-Acid Batteries in Canada", Office of Waste Management, Quebec, Canada, 1993
- Fernández-Villagómez G. "Manual de laboratorio de química del agua", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México D.F. 1994
- Filchak K., "Plomo en y alrededor de su casa: Identificación y Manejo de sus Fuentes", Servicio de Extensión Cooperativa de la Universidad de Connecticut, 1997
- Foth H. D., "Fundamentals of Soil Science", 6a edición, 1978, pp. 204-213
- Foulkes E.C., "Biological Effects of Heavy Metals", Edit. CRC PRESS Vol.II, pp.44,48, 1924
- FRTR, Federal Remediation Technologies Roundtable, Remediation Technologies Screening Matrix and Referente Guide, Versión 4, CLU-IN, USEPA, 2003 [www.frtr.gov/matrix2/seccion4](http://www.frtr.gov/matrix2/seccion4), <http://clu-in.org/product/asr/Home.htm>
- García I. y Dorronsoro C., "Contaminación del Suelo", Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada, España 2000
- Gots R. E., "Toxics Risks", Science, Regulations and Perception, USEPA, Edit. Lewis Publishers, pp. 224-232, 1993
- Gran Sopena Enciclopedia, Editorial Ramón Sopena, S.A., Grolier Internacional, Inc, Vol. V, Barcelona 1973
- Greenpeace / Toxic Trade Publications, "Lead Astray: the Poisonous Lead Battery Waste Trade", Washington D.C., 1994
- GTT Grupo de Trabajo Técnico, "Proyecto de Directrices Técnicas para el Manejo Ambientalmente Racional de Desechos de Acumuladores de Ácido-Plomo", Décimo Octavo periodo de sesiones, Secretaría de la Convención de Basilea, Abril 2001
- Henry J. G., Heinke G. W., "Ingeniería Ambiental", 2a edición Prentice Hall, México 1999, pp. 142-157, 293-295
- Heredia F., Directora de Recursos Costeros y Marinos, "Manejo Ambientalmente Racional de Baterías Usadas Ácidas de Plomo en Centro América y el Caribe", Coordinación por, Santo Domingo, D.N., República Dominicana, 26 de Julio de 2002, Auspicio Secretaría de la Convención de Basilea

- ILMC Internacional Lead Management Center, Inc., "Actividades para la reducción del riesgo", U.S.A. marzo 2003 [www.ilmc.org/spanish/rra.html](http://www.ilmc.org/spanish/rra.html)
- INE Instituto Nacional de Ecología, "Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México", México 1997
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, "Actividades de Producción de Bienes", Censos económicos 1999
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, "Atlas Nacional de México Físico", México 1988
- INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Censo 2000 y datos topográficos 2002 de Chapa de Mota, estado de México, Dirección de base de datos geográficos, México 2002 [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx) , [www.edomexico.gob.mx/se/chapadiag.htm](http://www.edomexico.gob.mx/se/chapadiag.htm)
- Iturbe-Argüelles R., Curso de Saneamiento de Suelos y Acuíferos, DEPMI-UNAM División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México 2002
- Izcapa T. C., "Lineamientos generales para la evaluación de sitios contaminados y propuesta de acciones para su restauración", CENAPRED, México 1998
- Jackson M.L., "Análisis Químico de Suelos", Edit. OMEGA S.A. 4ª edición, Barcelona 1982
- Kabat P. A. y Kabat P. H., "Trace element in soil and plants", 2ª edición CRC PRESS, 1992
- Kilham L., Low R.J., Conti S.F., Dallenback F.D., "Intranuclear inclusions and neoplasms in the kidneys of wild rats", J. Natl Cancer Institution, 1962, pag. 863-885
- Ley Forestal de los Estados Unidos Mexicanos, diciembre 2001
- LGEEPA Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988
- Li Yi M., Chaney R. L., Kershner B. A., Chen Kuang Y., Angle J. S., Baker A., , "Zinc and cadmium accumulation in the hiperaccumulator *Thlaspi caerulescens* in response to limestone and compost applications to a heavy metal contaminated site in Palmerton, Pennsylvania", United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1998 <http://www.nal.usda.gov/ttic/tektran/data/000008/57/0000085757.html>
- Lomelí R. M.G., Tamayo O. R., Ilarraz L.A., Deterioro Ambiental, Proyecto CCH UNAM, 2002 [www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/12hoja.html](http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/12hoja.html)
- López-Silva H.R., "Química analítica del plomo", Tesis de Licenciatura en Química, Facultad de Química UNAM, 1979, pag. 3-12
- New Grolier Encyclopedia Multimedia, Grolier Electronic Publishing, Inc., 1984
- NLIC, Contact the National Lead Information Center, Residential Lead Hazard Standards- TSCA Section 403, Office of Pollution And Toxics, USEPA, 2001

OCDE, Organization for Economic Cooperation Development, "Risk Reduction Monograph", No.1 Lead: Background and national experience with reducing risk, Paris France, 1993

Oyarzun R. e Higuera P., "Minerales, metales, compuestos químicos y seres vivos: una difícil pero inevitable convivencia" 2000 [www.ucm.es/info/crismine/Geologia\\_Minera/Mineria\\_toxicidad.htm](http://www.ucm.es/info/crismine/Geologia_Minera/Mineria_toxicidad.htm)

Plunkett E.R., "Manual de Toxicología Industrial", Servicios de Higiene Industrial, Barberton, Ohio, URMO S.A. de Ediciones, 1974

Puelles M., Valiente L. Curato M., Tortosa R., Bartoloni N., D'Ambrogio A., "Uso de Discaria Americana en Fitorremediación", Boletín Química Informa, CEQUIPE – INTI Argentina Julio 2002

Rodier J., "Análisis de las Aguas: Aguas Naturales, aguas residuales, agua de mar: química, fisicoquímica, bacteriológica, biológica", Edit. Omega, Barcelona 1981, pag. 306-312

Roldán M. G. A., "Biopilas como alternativa de tratamiento para la rehabilitación de suelos contaminados con hidrocarburos", Instituto de Ingeniería de la UNAM, México 2001

Rosiles R, López R, Montes de Oca R, Velásquez V, "Niveles de varios metales en hígado de aves acuáticas migratorias capturadas en Laguna del Valle de Lerma, Estado de México", 1996.

Rosiles R., Delgado G. R., Fortoul van der Goes Teresa I., "Concentraciones de plomo, cadmio y cromo y su relación con algunas modificaciones morfológicas en tejidos de palomas *Columba livia* de la ciudad de México e Ixtlahuaca", Edo Mex, 1996

SEGOB Secretaría de Gobernación, CENAPRED Centro Nacional de Desastres, Programa Nacional de Protección Civil 2001-2006

SEMARNAP, "Informe anual de la calidad del aire en el Valle de México 1999" Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, 1999

SEMARNAT Secretaría del Medio Ambiente, "Directorio de empresas de recolección y transporte de residuos peligrosos", enero 2003 [www.semarnat.gob.mx/dqmic/rpaar/rp/directorio/rubro1.shtml](http://www.semarnat.gob.mx/dqmic/rpaar/rp/directorio/rubro1.shtml)

Staley L., "Lead reclamation from superfund waste", National Risk Management Research Laboratory, Tech Trends, junio 1996

Stanley E. M., "Toxicological chemistry", Edit. Lewis Publishers, 1992, pp.257-259

Sposito y Page, "Metals Ions in Biological Systems", ed. Siegel, New York 1984, pp. 287-232

UNEP United National Environment Programme, "Design Manual II Pollution Control Facilities for Small Battery Plants, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand, 1983

Universidad de Extremadura, Edafología Ciencias Ambientales, Área de edafología y química agrícola, Facultad de ciencias, España, Mayo 2001 [www.unex.es/edafo/CAEdProgTeor.html](http://www.unex.es/edafo/CAEdProgTeor.html), <http://edafologia.ugr.es/Conta/tema00/progr.htm>

USEPA Environment Protection Agency U.S., Health Effects Research Lab, Criteria and Special Studies Office, "Air Quality Criteria for Lead", National Technical Information Service, Springfield, VA, 1986

USEPA Environment Protection Agency U.S., "Guía del Ciudadano para la Fitocorrección (A Citizen's Guide to Phytoremediation)", EPA 542-F-01-002S Diciembre 2001

USEPA Environment Protection Agency U.S., "Guía del Ciudadano. El enjuague de suelo in situ", Desechos sólidos y respuesta en situaciones de emergencia, Oficina de innovaciones tecnológicas, EPA 542-F-96-022 Abril 1996

USEPA Environment Protection Agency U.S., "Lead Phase Out", The Office of International Affairs (OIA) [www.epa.gov/oia/tips/lead2.htm](http://www.epa.gov/oia/tips/lead2.htm), Julio 2001

WHO World Health Organization, "Lead Environmental Aspects", Environmental Health Criteria 85, International Programme on Chemical Safety, Geneva 1989

Wise D.L., Trantolo D.J., Cichon E.J., Inyang H.I., Stottmeister U., "Biorremediation of Contaminated Soils", Ed. Marcel Dekker, Inc., New York – Basel 2000, pp. 745-857

Wilson B., "Taller sobre el manejo ecológico de baterías de plomo ácido usadas en Centroamérica y el Caribe", Grupo de Trabajo Técnico del Convenio de Basilea, ILMC Centro Internacional de Manejo del plomo, Trinidad, mayo 2001

Zook B.C., Sauer R.M., Garner F.M., "Lead poisoning in captive wild animals", 1972, pag. 264-272.

#### NORMAS CONSULTADAS

NOM-001-ECOL-1996	Limites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales
NOM-002-CNA-1995	Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable. Especificaciones y métodos de prueba
NOM-003-SSA1-1993	Requisitos necesarios que debe satisfacer el etiquetado de pinturas, tintes, barnices, lacas y esmaltes
NOM-004-SSA1-1993	Limitaciones y requisitos sanitarios para el uso de monóxido de plomo, óxido rojo de plomo y carbonato básico de plomo
NOM-004-SCT2-1994	Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos
NOM-007-SSA1-1993	Seguridad de juguetes y artículos escolares. Limites de biodisponibilidad de metales en artículos recubiertos con pinturas o tintas. Especificaciones químicas y métodos de prueba
NOM-009-SSA1-1993	Cerámica vidriada, métodos de prueba para la determinación de plomo y cadmio solubles
NOM-010-STPS-1999	Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejan, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral
NOM-021-RECNAT-2000	Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis

## BIBLIOGRAFÍA

---

- NOM-026-SSA1-1993 Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población
- NOM-052-ECOL-1993 Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente
- NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización
- NOM-199-SSA1-2000 Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente
- NMX-AA-051-SCFI-2001 Análisis de agua—determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – método de prueba

## ANEXO I

### ENCUESTA DIRIGIDA A LA POBLACIÓN DE CHAPA DE MOTA

Edad: \_\_\_\_\_  
 Peso: \_\_\_\_\_  
 Estatura: \_\_\_\_\_  
 Dirección: \_\_\_\_\_

1. ¿Cuántos años tiene viviendo en esta dirección? \_\_\_\_\_
2. ¿Dónde nació? \_\_\_\_\_
3. ¿Hace ejercicio, cuál? \_\_\_\_\_
4. ¿Cuántas comidas hace al día? \_\_\_\_\_
5. ¿Consume gran cantidad de calcio en su dieta: tortilla, leche, queso, cebolla, col? \_\_\_\_\_

### Familia

6. ¿En su familia han padecido de enfermedades crónicas, cuál (es)?  
 \_\_\_\_\_
7. ¿Tiene hijos, cuántos? \_\_\_\_\_
8. ¿Qué edad tiene(n)? \_\_\_\_\_
9. ¿Estudian, qué grado? \_\_\_\_\_
10. ¿Qué dificultades han tenido al estudiar?  
 \_\_\_\_\_
11. ¿Qué actividades realizaba la madre durante el embarazo?  
 \_\_\_\_\_
12. ¿Fue parto normal?  
 9 meses       cesárea       prematuro      otros problemas  
 \_\_\_\_\_
13. Nacieron en casa o en algún Sanatorio? \_\_\_\_\_



14. El bebe fue amamantado, cuánto tiempo? \_\_\_\_\_
15. Enfermedades de los primeros años: \_\_\_\_\_
16. ¿Ha(n) tenido bronquitis, cuándo? \_\_\_\_\_
17. ¿Padecen de cólicos frecuentes o entumecimiento de los músculos?  
\_\_\_\_\_
18. Frecuentemente tienen pérdida de apetito o de peso? \_\_\_\_\_
19. ¿Nota que su familia tiene humor irritable o nervioso constantemente, por  
qué razón? \_\_\_\_\_
20. ¿Padecen de estreñimiento?
- Sí       no      desde cuándo \_\_\_\_\_

### Datos médicos personales

21. ¿Cada cuándo recurre al médico?
- 1 ó más veces/3 meses       1 ó más/6 meses       1 ó más/año
22. ¿A qué Sanatorio acude, ud. y su familia? \_\_\_\_\_
23. ¿Sufre de mareos regularmente?
- sí       no      cada cuándo \_\_\_\_\_
24. Tiene náuseas frecuentemente?
- Sí       no      cada cuándo \_\_\_\_\_
25. ¿Ha saboreado un sabor metálico en la boca?
- Sí       no      cuándo \_\_\_\_\_

26. ¿Padece alguna enfermedad crónica (diabetes, insuficiencia cardiaca o renal, asma, cáncer, leucemia, epilepsia, artritis, mala circulación)?

\_\_\_\_\_

27. ¿Sufre de dolores de cabeza frecuentemente? Por qué causa

Sí

no

\_\_\_\_\_

cada cuándo \_\_\_\_\_

28. ¿Le han hecho exámenes de laboratorio en los últimos 5 años, de qué tipo, para qué? \_\_\_\_\_

29. ¿Recuerda qué resultados se obtuvieron? \_\_\_\_\_

30. ¿Padece de presión baja? \_\_\_\_\_

31. ¿Ha tenido fractura de huesos? ¿Por qué? \_\_\_\_\_

Sí

no

hace cuánto \_\_\_\_\_

32. ¿Ha presentado ud. o su familia anemia?

Sí

no

hace cuánto \_\_\_\_\_

33. ¿En dónde se atiende cuándo se enferma o se siente mal?

\_\_\_\_\_

### Datos ocupacionales

34. ¿Qué actividades realiza regularmente en esta comunidad?

\_\_\_\_\_

35. ¿A qué se dedica? \_\_\_\_\_

36. En el terreno de su casa cultiva algo (árboles frutales, plantas, productos comestibles)? \_\_\_\_\_

37. ¿Con qué frecuencia tiene contacto con la tierra (para aflojarla, sembrar, otras actividades, cuáles)? \_\_\_\_\_

### Hábitos

38. ¿Cada cuándo se lava las manos? \_\_\_\_\_

39. ¿Fuma?, en dónde \_\_\_\_\_

40. ¿Cuando llega de la calle se lava las manos? \_\_\_\_\_

41. ¿Tiene agua potable en su casa? \_\_\_\_\_

42. ¿Con qué frecuencia se baña? \_\_\_\_\_

43. ¿Con qué frecuencia se lava los dientes? \_\_\_\_\_

### Animales

44. ¿Tiene mascotas, cuáles? \_\_\_\_\_

45. ¿Están vacunados?

Sí

no

46. Aproximadamente, ¿cuánto duran vivos? \_\_\_\_\_

47. ¿Han tenido alguna enfermedad?

Sí

no

cuál \_\_\_\_\_