



# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE MÉXICO

CAMPUS CHAPULTEPEC

## **“ESTUDIO TOXICOLOGICO DE Pb, Cr, y Cd PARA EVALUAR RIESGOS EN LA SALUD DE UNA POBLACIÓN”**

**Tesis que presenta:**

Ana Deyanira Zecua Lechuga

**Para obtener el título de**

Química Farmacéutica Bióloga

**Director de Tesis:**

M. en C. Isidro Hinojosa López

Noviembre 2007



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.

*A mis padres y hermanos*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Agradezco a mis padres por estar atrás de mí dándome la fuerza que necesito para seguir mi camino, por su apoyo comprensión y amor, en todos mis proyectos y exigir mi fortaleza cuando ha sido necesario. Nunca podré pagar tanta riqueza recibida a lo largo de mi vida y siempre estaré profundamente agradecida.*

*Al M en C Isidro Hinojosa por ser además de un excelente maestro una gran persona a quien admiro además por darme su apoyo en los momentos que más necesitaba y por la confianza que depositó en mí.*

*Al Dr. Jorge Rodríguez por permitirme realizar este trabajo, por sus aportes sugerencias y observaciones*

*Al Dr. Roberto Abe por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto*

*A mi amiga Roxana por su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida por ayudarme en los momentos difíciles y nunca dejarme sola, sabes que te quiero mucho.*

*A mis amigos, y todas las personas que han estado presentes en mi vida, les digo que cada encuentro con ustedes me nutre, me ayuda, me enseña y me conduce a ser la persona que soy.*

*Gracias*

# ÍNDICE

I.	RESUMEN	6
II.	INTRODUCCIÓN	
1.	Generalidades	8
2.	Plomo	11
	Antecedentes históricos	11
	Propiedades físicas y químicas	12
	Fuentes y usos del plomo	11
	Efectos en el medio abiótico	15
	Efectos en el medio biótico	16
	Metabolismo	17
	Toxicocinética	18
	Efectos en el hombre	19
3.	Cadmio	
	Antecedentes históricos	23
	Propiedades físicas y químicas	23
	Características fisicoquímicas y química ambiental	23
	Fuentes antropogénicas	24
	Usos	24
	Efectos en el medio abiótico	25
	Efectos en el medio biótico	27
	Toxicocinética	27
	Efectos en el hombre	29

4. Cromo	31
Antecedentes históricos	31
Propiedades físicas y químicas	32
Fuentes y usos del cromo	33
Efectos en el medio abiótico	33
Tipos de exposición	33
Toxicocinética	35
Efectos en el hombre	
5. Absorción atómica	37
5.1    Generalidades	
III. JUSTIFICACIÓN	38
IV. OBJETIVOS	38
V. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	39
VI. RESULTADOS	44
VII. CONCLUSIONES	56
VIII. BIBLIOGRAFÍA	57
IX. ANEXO FOTOGRÁFICO	59

## I. RESUMEN

La actividad antropogénica, como la industrial y minera, arroja al ambiente metales pesados tóxicos, como plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cromo, entre otros, y que son muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de las formas de vida, encontrándose además en la atmósfera como material suspendido que respiramos. Además las aguas residuales no tratadas, provenientes de minas y fábricas, llegan a los ríos, mientras que los desechos contaminan las aguas subterráneas. Cuando se abandonan metales tóxicos en el ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y tejidos orgánicos.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, según la cadena alimenticia ejemplo de esto, la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación.

Estudios muy recientes se han ocupado de la repercusión negativa de los metales pesados en la situación del ecosistema y la salud del ser humano. Con respecto a estos últimos hoy en día se conoce mucho más sobre los efectos de estos elementos cuya exposición está relacionada con varios problemas de salud, como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e, incluso, con casos de muerte. A pesar de las abundantes pruebas de estos efectos nocivos para la salud, la exposición a los metales pesados continúa y puede incrementarse por la falta de una política consensuada y concreta. [1,2]

La Ex Hacienda de El Hospital ubicada en el municipio de Cuautla Morelos está contaminada con metales pesados [1, 2, 28]. En este lugar de 1973 a 1997 operó la fábrica alemana BASF, que tenía como actividad principal el procesamiento de pigmentos para la elaboración de pinturas de tránsito, y la cual no desarrolló ninguna medida preventiva para evitar daños en el inmueble así como en sus trabajadores. Estudios realizados últimamente [28] demuestran que el suelo está contaminado con grandes cantidades de metales como plomo, cromo, arsénico y cadmio, además de que se pueden observar pigmentaciones acumuladas en el suelo y el subsuelo, siendo posible que la afectación haya llegado también a mantos freáticos ubicados a menos de tres metros de profundidad, todo esto puede constituir un riesgo inminente de desequilibrio ecológico con repercusiones peligrosas para los ecosistemas, sus componentes y por consecuencia en la salud pública [2,28].

## II. INTRODUCCIÓN

### 1. GENERALIDADES

En el suelo existen elementos minoritarios que se encuentran en muy bajas concentraciones y al evolucionar la vida se han adaptado a estas posibilidades, ocurriendo que las concentraciones más altas de estos elementos se hayan vuelto tóxicas para los organismos. Dentro de este grupo de elementos son muy abundantes los denominados metales pesados. [4]

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a  $5 \text{ gr cm}^{-3}$  cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01%. Junto a estos metales pesados hay algunos elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados; es éste el caso del As, B, Ba, y Se. [5]

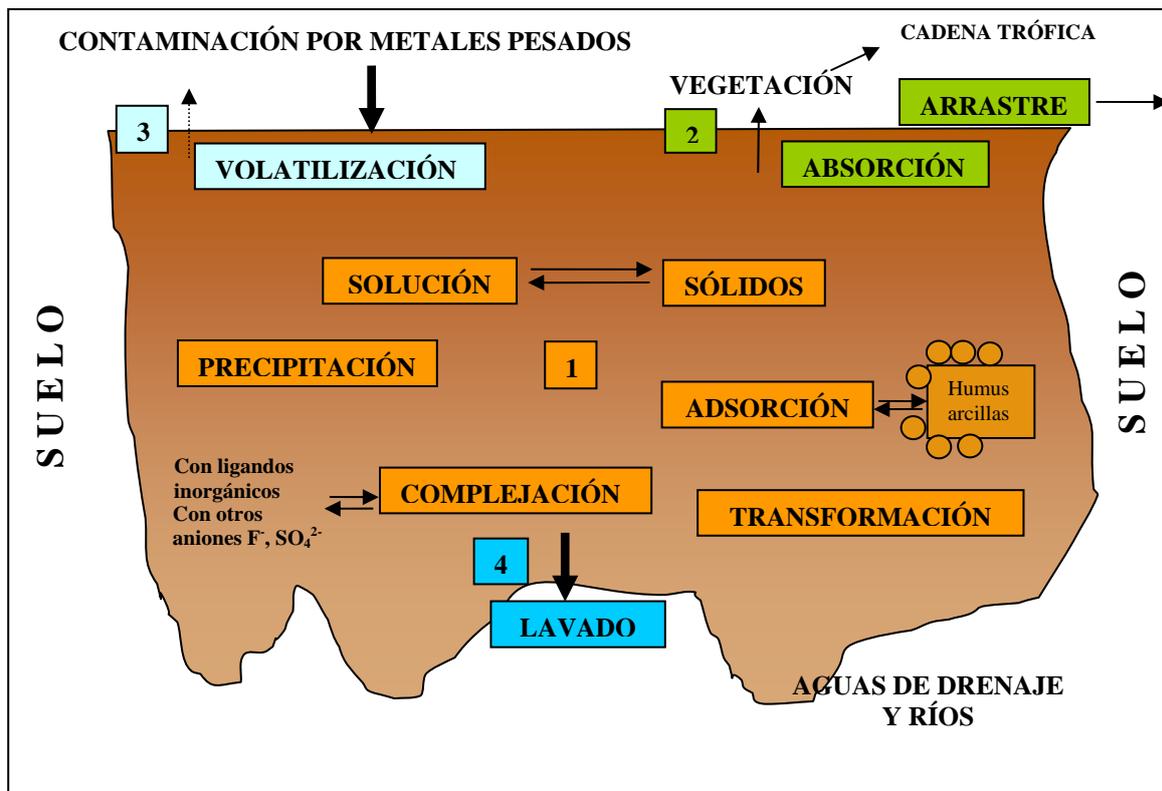
Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

- ✓ Oligoelementos o micronutrientes. Son aquellos que son requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasando cierto umbral se vuelven tóxicos, dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.
- ✓ Metales pesados sin función biológica conocida. Son aquellos cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos puede llevar a disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los seres vivos. Son principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi.

Las concentraciones anómalas que se presentan en un suelo pueden ser por causas naturales (por ejemplo, los suelos desarrollados sobre serpentinas<sup>1</sup>), los metales pesados son muy estables en el suelo y suelen concentrarse en el proceso natural de transformación de las rocas para originar los suelos, pero en general, sin rebasar los umbrales de toxicidad.[4,5]

De acuerdo a la **FIGURA 1** los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- 1 Pueden quedar retenidos en el suelo; disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
- 2 Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas
- 3 Pueden pasar a la atmósfera por volatilización
- 4 Pueden movilizarse por las aguas superficiales o subterráneas



<sup>1</sup> Serpentinización: Rocas basálticas con altos contenidos en elementos como Cr, Ni, Cu, As y Mn

En los suelos los metales pesados pueden producir riesgos dependiendo fundamentalmente de:

- ✓ La toxicidad del metal presente
- ✓ El carácter acumulativo de cada elemento, destacando aquellos metales que presenten un índice de bioacumulación<sup>2</sup> superior a 1 como el Cadmio (Cd) el Mercurio (Hg), Berilio (Be) y Cobre (Cu) y que están indicados en la FIGURA. 2 [6]

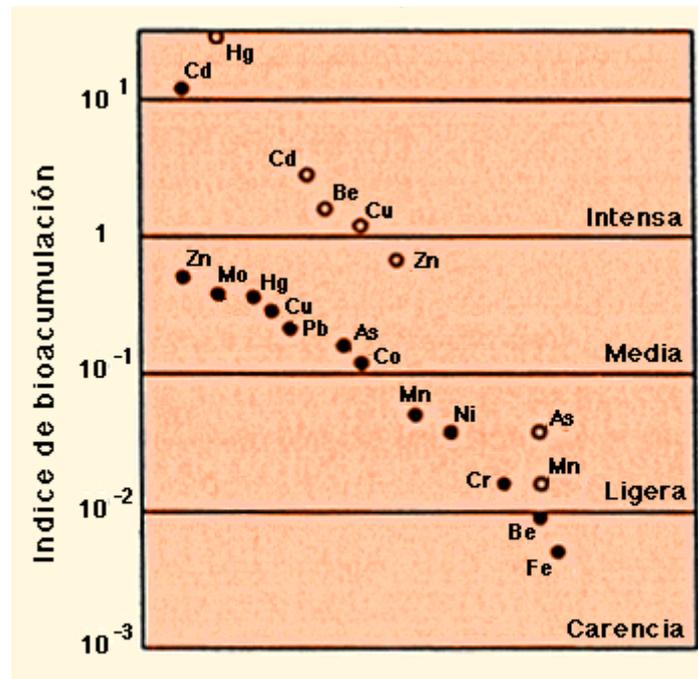


FIGURA. 2 BIOACUMULACIÓN EN EL SUELO

En la actualidad, el uso de estos elementos se ha incrementado en forma alarmante, lo cual está asociado con el crecimiento explosivo de la población y con el desarrollo tecnológico mal planeado. Esta utilización excesiva ha provocado un aumento en la concentración basal de casi todos estos elementos y ha roto así, sus ciclos biogeoquímicos naturales.

Por esta razón, algunos organismos absorben, de una u otra forma, cantidades excesivas de estos elementos los que, en la mayoría de los casos causan efectos irreversibles a los seres vivos. [7]

<sup>2</sup> Bioacumulación se refiere a la acumulación de contaminantes en los organismos y el índice de bioacumulación se expresa por la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de este contaminante en el suelo

## **2. PLOMO**

El plomo es un elemento especialmente importante debido a su amplia utilización en una gran variedad de procesos industriales así como su toxicidad aguda y crónica. Su resistencia a la corrosión atmosférica y la acción de los ácidos, especialmente al sulfúrico, hace que el plomo sea muy útil en la edificación, en las instalaciones de fábricas de productos químicos y en tuberías y envolturas de cables.[4, 8]

### **2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

El plomo (Pb) fue uno de los primeros metales que utilizó el hombre; existen evidencias de su uso en el este de Asia Menor desde el año 4000 A.C. Lo emplearon tanto los egipcios como los babilonios; los fenicios explotaron minas de plomo en España desde el año 2000 A.C. Fue llamado "saturno" por los griegos. Los romanos lo usaron para la fabricación de ductos de utensilios diversos, y especialmente para el almacenamiento del vino. A su amplio y prolongado uso se debe que la intoxicación por plomo se conozca desde hace más de 2 mil años.

En el año 310 A.C., Hipócrates relacionó por primera vez los síntomas de un hombre que extraía metales con la exposición a plomo. En el siglo XVI, Paracelso describió el cuadro clínico asociado con la exposición al plomo que denominó "enfermedad del minero". Ramazzini detectó temblor y parálisis de los miembros superiores en los alfareros que manejaban este metal. En México, la contaminación ambiental por plomo y sus efectos adversos se observaron desde 1682.

A partir del siglo XIX se descubrieron las aplicaciones industriales de este metal. En el mismo siglo, Andarl y Gavarret, así como Malaseey, describieron signos y síntomas importantes de la intoxicación por plomo. La intoxicación de niños con pintura a base de plomo fue descrita por primera vez en Brisbane, Australia, en 1897. Se creía que la recuperación era completa después de una intoxicación aguda con plomo, sin embargo, Byers y Lord refutaron esto en 1943, cuando encontraron problemas de retraso mental en niños que se habían recuperado de una intoxicación aguda.

Las concentraciones de plomo en el medio ambiente se han elevado conforme ha aumentado su uso. Este aumento ha sido notorio sobre todo a partir de 1750, y es paralelo al desarrollo de la Revolución Industrial. A finales de la Segunda Guerra Mundial, la contaminación ambiental por plomo se elevó aún más, entre otras causas, por la introducción de compuestos orgánicos de plomo como aditivos para la gasolina.

No se ha identificado ninguna función benéfica del plomo en los organismos. [9]

## 2.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Se encuentra en el grupo IV A de la Tabla Periódica junto con el carbono, silicio, germanio y estaño. Sus estados de oxidación son 0,+2, +4. Su número de valencia generalmente es +2, pero también, reacciona con valencia +4, sobre todo en compuestos orgánicos.

## 2.3 FUENTES Y USOS DEL PLOMO

### 2.3.1 FUENTES

El plomo es un constituyente natural del suelo y del polvo; es un contaminante permanente, por lo tanto, es indestructible y no puede ser transformado a una forma inocua. El plomo se encuentra muy extendido en la naturaleza, tanto por ser un elemento natural, como por las emisiones antropogénicas derivadas de sus usos. Su dispersión no conoce límites geográficos y puede contaminar áreas muy lejanas al sitio original de emisión.

2.3.1.1 SUELOS.— El plomo es un elemento relativamente abundante que se encuentra en aire, agua, suelo, plantas y animales. Sus fuentes naturales son la erosión del suelo, el desgaste de los depósitos de los minerales de plomo y las emanaciones volcánicas. Las concentraciones normales de plomo en un suelo no contaminado están entre las **10 y las 15 ppm**, pero las actividades humanas pueden aumentar estas concentraciones de 10 a 200 veces. Desde el punto de vista comercial, los minerales más importantes son la galena (sulfuro de plomo, PbS), la cerusita (carbonato de plomo, PbCO<sub>3</sub>) y la anglesita (sulfato de plomo, PbSO<sub>4</sub>).

El transporte y distribución de plomo a partir de sus fuentes es sobre todo de tipo atmosférico. Aunque la mayoría del plomo se deposita cerca de la fuente de emisión, hasta el 20% puede contaminar áreas remotas. El presente en el aire puede pasar a la tierra y las aguas por precipitación seca y húmeda; de éstas, la segunda es más importante y equivale aproximadamente al 70% del plomo que llega a la tierra. En la mayoría de los casos es poco soluble y se deposita en suelos y sedimentos a la materia orgánica presente en ellos. Por esta razón, el plomo se acumula en donde se deposita. Las fuentes naturales de plomo emiten anualmente al ambiente cerca de 200,000 toneladas de este metal.

2.3.1.2. AIRE.— La concentración natural de plomo en la atmósfera oscila entre  $2.0 \times 10^{-5}$  y  $7.0 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$ . en las zonas urbanas; el plomo atmosférico puede provenir de fuentes móviles<sup>3</sup> o estacionarias<sup>4</sup>. Como resultado de la reducción del uso de plomo en las gasolinas, sus concentraciones en este medio han disminuido en los países que han efectuado este cambio, incluyendo México. Para la mayoría de las ciudades, el promedio anual de la cantidad de plomo en el aire es de 1 a  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para zonas rurales es de 0.1 a  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y, en lugares remotos, es menor a  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el **CUADRO 1** se presentan las emisiones antropogénicas de plomo hacia la atmósfera [7]

---

<sup>3</sup> Fuentes estacionarias. Entre las principales fuentes de contaminación en zonas alejadas de las ciudades están las minas, refinerías termoeléctricas y nucleoelectricas así como las centrales hidroeléctricas, y en la ciudad las fuentes fijas son los sitios en donde se desarrollan procesos industriales (fábricas, etc.)

<sup>4</sup> Fuentes móviles. Las principales fuentes móviles de contaminación son los automóviles y otros medios de transporte

**CUADRO 1. EMISIONES ANTROPOGÉNICAS DE PLOMO HACIA LA ATMÓSFERA [10]**

<b>FUENTE</b>	<b>TASA DE EMISIÓN (TON/AÑO)</b>
<i>Combustión de Carbón:</i>	
• Plantas termoeléctricas	780 - 4,650
• Uso industrial y doméstico	990 – 9,900
<i>Combustión de Petróleo</i>	
• Plantas termoeléctricas	230 – 1,740
• Uso industrial y doméstico	720 – 2,150
<i>Producción de Plomo</i>	
• Fundición/ Minería	1,700 – 3,400
• Producción de plomo	11,700 – 31,200
• Producción de Cu – Ni	11,000 – 22,100
• Producción de Cd - Zn	5,520 – 11,500
<i>Otros</i>	
• Producción de acero	1,070 – 14,200
• Fuentes móviles	248,030

**FUENTE:** *Environmental Health Criteria*

2.3.1.3 AGUA. — Las aguas naturales contienen solamente trazas de plomo. La mayor fuente de plomo para el agua de bebida son las tuberías y las uniones de plomo. Si el agua es poco ácida, o muy suave, el plomo se disuelve y pasa a su forma iónica; por esto, se puede liberar en gran cantidad de las tuberías, sobre todo si permanece estancada en ellas; aún el agua estancada por corto tiempo en una tubería de cobre-plomo puede llegar a tener hasta 100 mg Pb/L

2.3.1.4 ALIMENTOS. — Los alimentos pueden ser una fuente importante de plomo. Los cultivos, particularmente de tubérculos y raíces comestibles como papa, rábanos, camote y zanahorias, pueden contener cantidades importantes de este metal.

La mayor parte de la contaminación de alimentos con este metal se origina mediante el procesamiento de los mismos; los alimentos enlatados que tienen carácter ácido se contaminan si las latas se sellan con soldadura de plomo, pues los productos disuelven dicha soldadura. Los utensilios de cocina de barro que fue *vidriado*<sup>5</sup> con derivados de plomo son peligrosos, ya que la preparación o almacenamiento de alimentos en ellos causa la disolución y transferencia del metal, sobre todo cuando se trata de alimentos ácidos, o la loza no fue horneada a una temperatura suficientemente alta como para fundir el plomo con la cerámica. [11]

### 2.3.2 USOS DEL PLOMO

Conforme a la OECD<sup>6</sup>, actualmente los principales usos del plomo en el mundo son en la fabricación de acumuladores, en pigmentos insecticidas, en explosivos, en reactivos químicos, en soldaduras, en aditivos para proteger de los rayos X, y otros diversos usos. Aunque ha decrecido en años recientes, el empleo del plomo en pigmentos ha sido muy importante. El pigmento que se ha utilizado más es el blanco de plomo o albayalde ( $Pb_3(OH)_2(CO_3)_2$ ); otros pigmentos importantes derivados de este metal son el sulfato básico y el cromato.

Algunos autores consideran que sólo el 4% del plomo emitido a la atmósfera es producto de las fuentes naturales y el resto proviene de las emisiones antropogénicas. [9,11]

## 2.4 EFECTOS DEL MEDIO ABIÓTICO

Una vez que el plomo ha llegado al suelo permanece ahí indefinidamente y sólo una pequeña parte es transportada por la lluvia. Por ello, se debe de considerar al suelo como uno de los principales depósitos de este contaminante.

En suelos las concentraciones de este elemento varían de 2 a 200  $\mu\text{g/g}$ , mientras que en los suelos de sitios urbanos, la concentración de plomo llega a

---

<sup>5</sup> Vidriado: recubrimiento que se utiliza en las ollas de barro como capa impermeabilizante dándole así un acabado brillante

<sup>6</sup> OECD. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ser extremadamente elevada. En algunas ocasiones, por ejemplo, el contenido medio de plomo en las calles de algunas zonas residenciales y comerciales llega a ser de 1600 a 2400  $\mu\text{g/g}$ . Esto representa un serio problema de salud, en especial en los niños.

Estas concentraciones también suelen ser elevadas en suelos cercanos a carreteras, industriales y fundidoras. Esto depende de la cantidad de plomo emitido, el tipo de vegetación, las condiciones atmosféricas, el viento, la lluvia, así como de otros factores como la distancia a la fuente de contaminación, la profundidad del suelo, etc.

La concentración anual de plomo proveniente de la atmósfera que se deposita en el suelo, es de 0.8  $\text{mg/m}^2$  para el hemisferio norte y de 0.4  $\text{mg/m}^2$  para el hemisferio sur. En este caso, la principal causa de contaminación del suelo por plomo atmosférico son los automóviles.

El contenido de plomo en casi todas las aguas varía entre 0.001 y 0.01  $\mu\text{g/mL}$ , cantidad muy inferior establecido por la OMS<sup>7</sup>, el cual es de 0.1  $\mu\text{g/mL}$ . Sin embargo, en las zonas de aguas blandas con pH ligeramente ácido, puede llegar a disolverse el plomo en las tuberías. En estas circunstancias, el contenido de plomo en el agua puede llegar hasta 3000  $\mu\text{g/L}$ , lo que puede causar intoxicación por plomo.

El principal efecto del plomo en el medio ambiente abiótico es su acumulación en los diversos sustratos, lo cual, a su vez provoca desequilibrios en su ciclo biogeoquímico [12]

## 2.5. EFECTOS EN EL MEDIO BIÓTICO

Las plantas que crecen en suelos contaminados por este elemento tienden a concentrarlo sobre todo en su sistema radicular. La contaminación se ha contribuido principalmente al plomo atmosférico.

Algunos animales, por ejemplo las lombrices de tierra, tienden a acumular plomo y pueden ser una de las rutas por las que este elemento entra en las cadenas alimenticias. En este caso, los demás eslabones serán los principales afectados. [12]

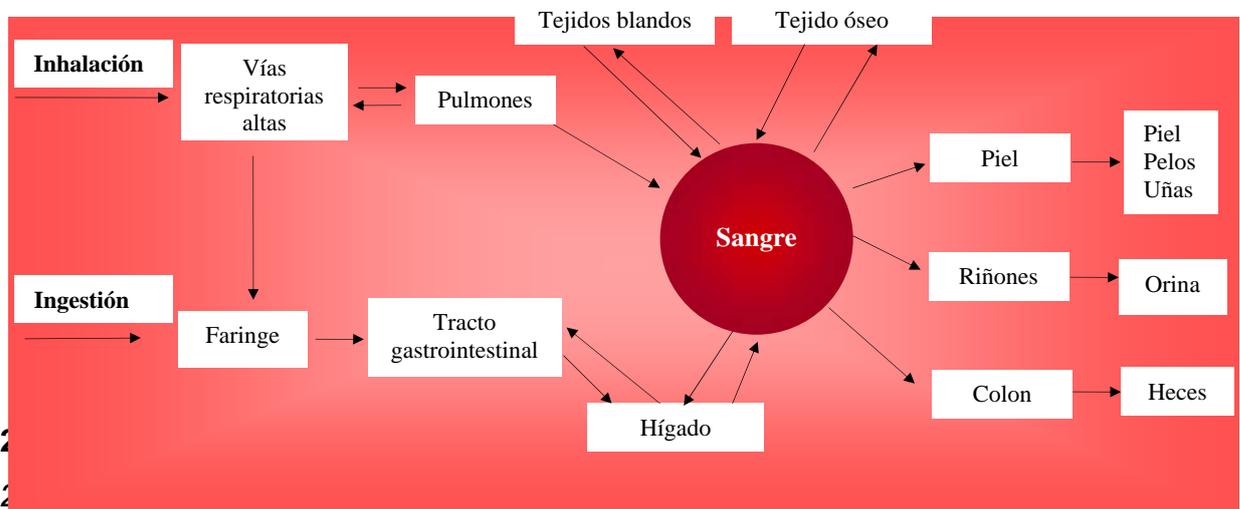
---

<sup>7</sup> OMS. Organización Mundial de la Salud

## 2.6 METABOLISMO

Según diversos estudios, el 35% del plomo inhalado por el hombre se deposita en los pulmones [29]. Aproximadamente el 10% de plomo ingerido en los alimentos y las bebidas es absorbido por el organismo. Sin embargo, utilizando datos de distintas fuentes, el plomo de origen alimentario se puede estimar a groso modo en 6-18  $\mu\text{g}$  por 100 mL de sangre y 100 $\mu\text{g}$  de ingesta alimentaria de plomo. [13]

A partir de estudios en animales y seres humanos se han definido con bastante claridad las características generales de la distribución y excreción del plomo [30]. El plomo se acumula en el organismo, por decirlo así, en un compartimiento amplio de renovación lenta y en otro más pequeño donde la renovación es más rápida. Anatómicamente, el compartimiento mas grande se localiza principalmente en los huesos y en él la cantidad de plomo aumenta durante toda la vida. El compartimiento menor corresponde a los tejidos blandos e incluye la sangre. Los niveles de plomo en los tejidos blandos y en la sangre se elevan hasta comienzos de la edad adulta, y a partir de entonces se modifican muy poco. **FIGURA 3**



Del plomo que llega a la parte baja del aparato respiratorio, aproximadamente del 35 al 50% pasa a la sangre y el resto se elimina. En este caso, la absorción depende de factores tales como:

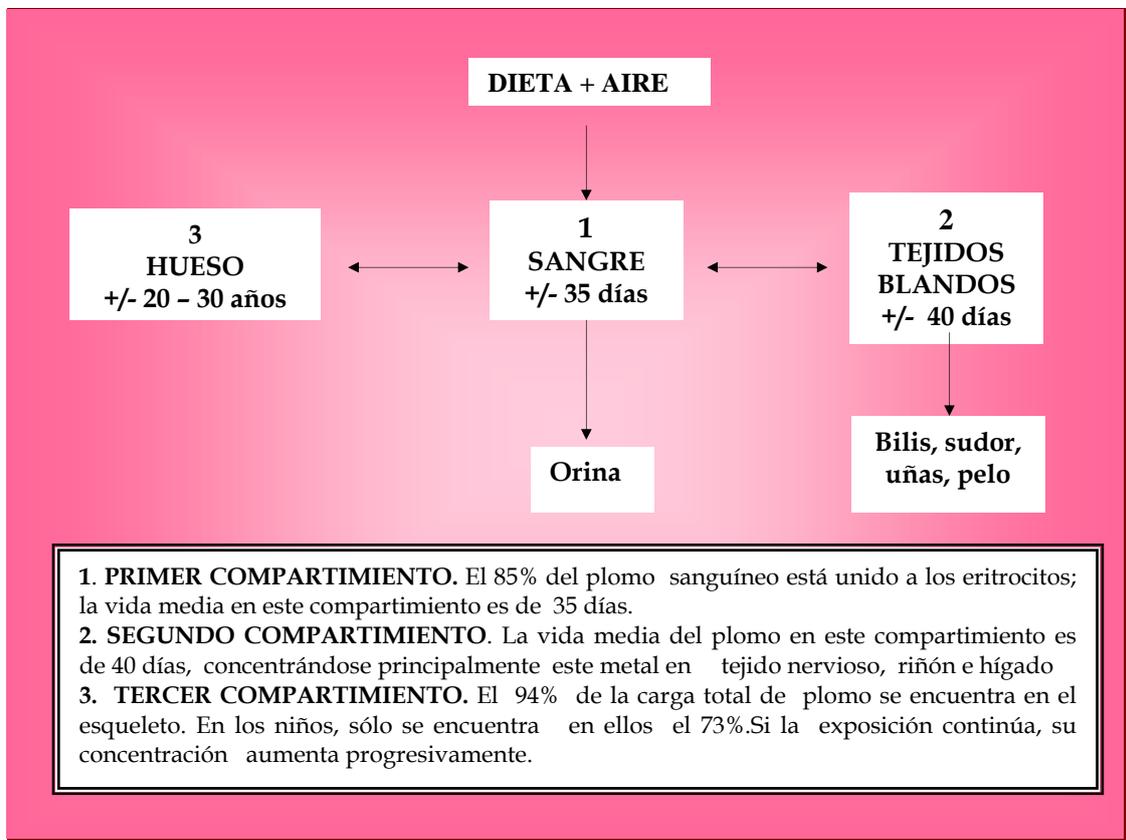
- El tamaño de partícula inhalada
- La forma química

- El ritmo respiratorio
- Las características intrínsecas del organismo

Se han llevado a cabo estudios que indican que por vía oral sólo es absorbido el 10%. No obstante, en niños este porcentaje es mucho mayor, ya que puede alcanzar hasta el 53% de la dosis ingerida. Sólo los compuestos orgánicos de plomo se absorben a través de la piel [13]

### 2.7.2 TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

El plomo se transporta por sangre y en un principio se distribuye uniformemente en todos los tejidos y órganos, y así a diferentes compartimentos (1. Sangre, 2. Tejidos blandos, 3. Hueso) como se muestra en la **FIGURA. 4**. Los huesos son el principal compartimiento en donde se almacena el plomo, ya que aproximadamente el 90% de la concentración corporal se encuentra en este tejido. En la sangre, el plomo se encuentra principalmente en los eritrocitos donde su concentración es aproximadamente 16 veces mas alta que en el plasma. [7,13]



**FIGURA. 4 DISTRIBUCIÓN DEL PLOMO EN EL ORGANISMO HUMANO**

### 2.7.3 ELIMINACIÓN

Alrededor del 90% del plomo que fue ingerido y que no se absorbió se elimina junto con las heces. Del plomo absorbido, un 76% aproximadamente se elimina por la orina, el resto se elimina a través del cabello, sudor, exfoliación cutánea, etc. Las secreciones pancreáticas y biliares contribuyen a la excreción fecal, también se elimina en la leche materna en concentraciones de hasta 12 mg/L.

## 2.8 EFECTOS EN EL HOMBRE

En el hombre, la intoxicación depende del tipo de compuesto por la absorción de óxidos, carbonatos y otros compuestos solubles en agua a través del tracto digestivo. La intoxicación aguda es menos frecuente y suele resultar de la inhalación de partículas de óxido de plomo.

El síntoma más común de intoxicación aguda es el dolor tipo cólico gastrointestinal. Al principio existe un estado de anorexia, con síntomas de dispepsia y estreñimiento y, después, un ataque de dolor abdominal generalizado. Otros síntomas que se pueden presentar son diarrea, sabor metálico en la boca, náuseas y vómitos, lasitud, insomnio, debilidad, y en mujeres se han llegado a presentar abortos [27, 30]

La encefalopatía aguda debida al plomo es rara en los adultos, pero se ha informado sobre numerosos casos de niños intoxicados con pedazos de pinturas de casas viejas. Las formas más severas de esta encefalopatía se desarrollan de repente con pérdida de estatura corporal y se puede presentar coma y/o paro cardiorrespiratorio. Algunos niños pueden presentar anemia y dolor abdominal antes del primer ataque de encefalopatía aguda. Los síntomas son apatía, vómito, estupor, ataxia, somnolencia, hiperactividad y otros síntomas neurológicos.

Las concentraciones de plomo en sangre asociadas con la intoxicación se encuentran en el intervalo de 80 a 100  $\mu\text{g/mL}$  y en ocasiones se han encontrado hasta 300  $\mu\text{g/mL}$  de sangre [30].

2.8.1. EFECTOS EN EL SISTEMA HEMATOPOYÉTICO.— Los efectos del plomo en este sistema son más comunes entre las personas expuestas laboralmente y se presentan principalmente como una intoxicación crónica. Uno de los síndromes más típicos de esta intoxicación es la anemia.

2.8.2. EFECTOS EN EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.— Los efectos que se manifiestan en este sistema son las encefalopatías por exposición crónica y subcrónica. Las principales características son torpeza, irritabilidad, dolor de cabeza, temblor muscular, ataxia y pérdida de la memoria. En algunos casos puede haber coma, con o sin convulsiones y, generalmente sobreviene la muerte.

2.8.3. EFECTOS EN EL SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO.— La principal manifestación en este sistema es la debilidad en los músculos extensores. También pueden ocurrir trastornos sensoriales como aumento en la sensación de dolor, calor, frío, etc., o insensibilidad al dolor.

2.8.4. OTROS EFECTOS.— Se han asociado diversos trastornos renales a la intoxicación con plomo, se han descrito dos tipos generales de efectos; el primero es una lesión tubular renal y la segunda una neuropatía crónica, pudiendo llegar ambas a una insuficiencia renal crónica. En animales se ha demostrado que el plomo produce tumores malignos y benignos. El plomo también causa aberraciones cromosómicas y una morfología anormal del espermatozoide en seres humanos.

En la **FIGURA 4** se resumen los efectos del plomo en relación con los niveles observados de plomo en sangre. [14, 30]

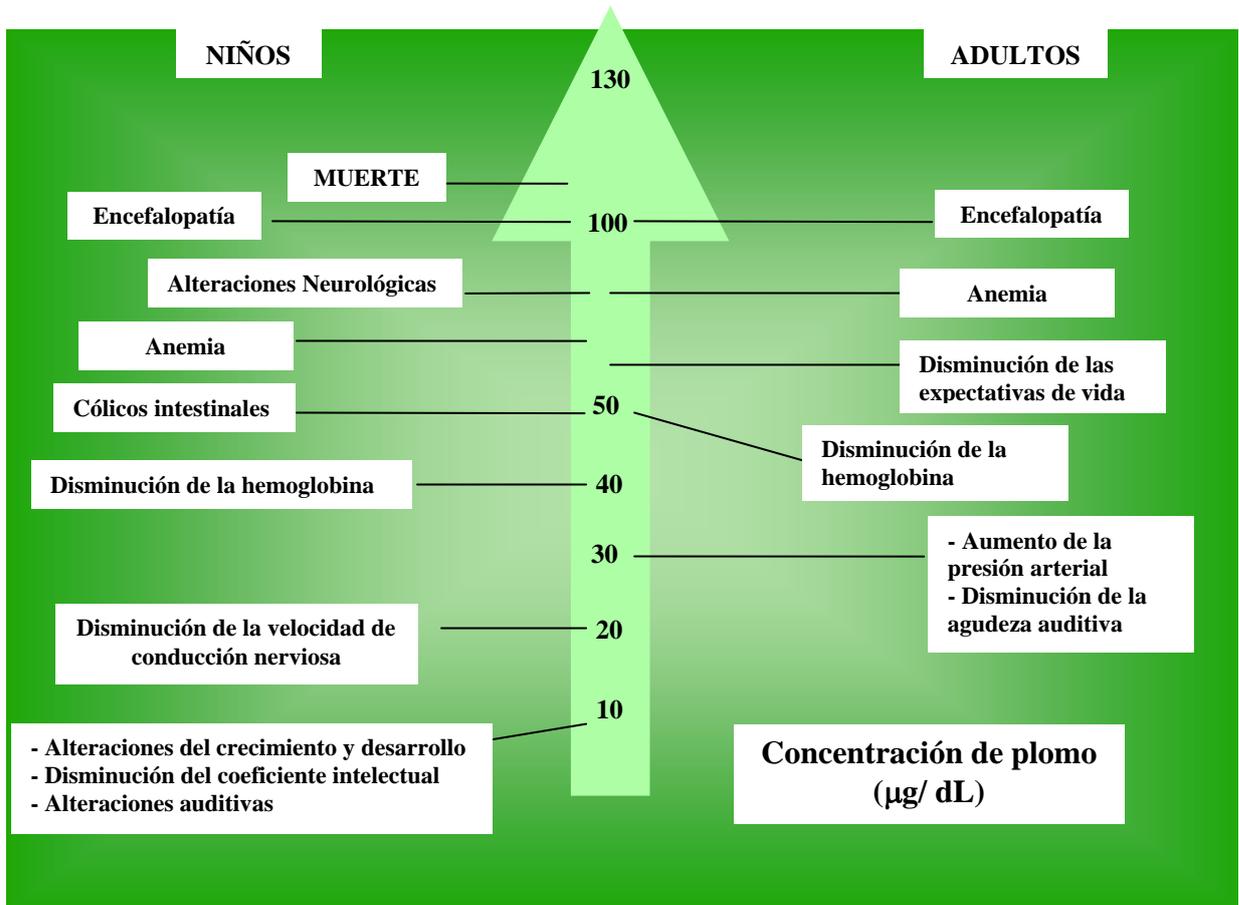


FIGURA 4. EFECTOS ADVERSOS PARA LA SALUD Y CONCENTRACIONES DE PLOMO EN SANGRE

Conforme a los efectos adversos que produce el Pb en el organismo se detalla a continuación una tabla en donde se explica la clasificación de intoxicación por plomo de acuerdo a la CDC y Norma Oficial Mexicana [15]

**TABLA 1. Clasificación de intoxicación por plomo según la CDC  
( U.S. Centres for Disease Control)[5]**

Clase	Nivel de Pb en sangre (□g/dL)	Descripción
I	Inferior a 10	Dentro del promedio, no se considera envenenamiento
IIA	10 – 14	Cerca del límite, pero no se requiere intervención médica
IIB	15 – 19	Los efectos del envenenamiento, aunque sutiles, se pueden identificar cuando hay exposición prolongada. En niños podría haber trastornos del desarrollo y el comportamiento e incluso la pérdida de puntos de Coeficiente Intelectual (IQ)
III	20 – 44	Se requiere intervención médica. Es el intervalo entre envenenamiento ligero y agudo. En niños se debe de evaluar si existe algún trastorno auditivo o del aprendizaje.
IV	45 – 69	Es posible que haya síntomas físicos evidentes. En niños se debe evaluar la historia de su desarrollo
V	Superior a 69	Se considera como una emergencia médica. Puede existir ya daño cerebral

FUENTE: *Lead is a Silent Hazard, R.M. Stapleton, 1994*

### **3. CADMIO**

#### **3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

El cadmio es un elemento que se encuentra en la naturaleza asociado a muchos minerales. En la actualidad, se le considera como uno de los elementos más tóxicos y, por esto, es uno de los más estudiados. Tiene una vida media larga y se acumula en los seres vivos permanentemente, por lo que ha ocasionado intoxicaciones masivas de seres humanos. [7]

#### **3.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Este elemento pertenece al grupo IIB de la tabla periódica y se encuentra en el subgrupo que incluye también al zinc y al mercurio. Su número de valencia es +2.

La solubilidad de las sales de cadmio en agua es muy variable, ya que los halogenuros, el sulfato y el nitrato son relativamente solubles mientras que el óxido, el hidróxido y el carbonato son prácticamente insolubles en agua.

El cadmio tiene una presión de vapor elevada por lo que durante su refinación y fundición, se libera óxido de cadmio, que constituye un elevado peligro potencial para la salud.

#### **3.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y QUÍMICA AMBIENTAL**

El cadmio está presente como un constituyente menor e inevitable en casi todos los concentrados de zinc, los que contienen por lo general de 0.1 a 0.3 por ciento de cadmio. En los concentrados de plomo y cobre se pueden encontrar concentraciones mucho más bajas de este metal.

Este elemento proviene principalmente del desgaste y la erosión de las rocas. Sus depósitos están asociados geoquímicamente a los de zinc, sobre todo en los minerales esfalerita, blenda de zinc y otros más. En la esfalerita (ZnS), el cadmio se encuentra en solución sólida como sulfuro por lo que algunos concentrados de blenda de zinc llegan a contener hasta 1% de cadmio. Sin embargo, el contenido medio suele ser muy pequeño.

Algunos minerales de importancia económica que contienen cadmio son el sulfuro de cadmio o greenockita (CdS). También hay otros minerales como el óxido de cadmio y un carbonato básico llamado otavita. Cabe aclarar que los procesos naturales por los cuales se libera cadmio son insignificantes como fuente de contaminación en comparación con el que procede de las actividades del hombre. [16]

### **3.4 FUENTES ANTROPOGÉNICAS**

Como el cadmio es relativamente volátil, se elimina en la etapa de cocción o desulfuración de todos los productos de zinc y es capturado para someterlo a un tratamiento posterior, por lo general para obtener cadmio metálico de alta pureza como producto final. En ciertos casos, su relación con el zinc es similar a la del arsénico con muchos de los concentrados de cobre ya que ambos son contaminantes menores inevitables. Sin embargo, a diferencia del arsénico, se han descubierto muchas aplicaciones para el cadmio y sus compuestos en el mundo industrializado actual. [16]

### **3.5 USOS**

Las aplicaciones más importantes del cadmio, en forma de óxido, son la fabricación de baterías, como catalizador y para recubrimientos electrolíticos; en forma de sulfuro pigmento amarillo; en forma de sulfato para recubrimientos electrolíticos y como intermediario en procesos químicos. También se utiliza el cadmio en las barras de control de los reactores nucleares.

A diferencia del plomo, el cadmio se ha utilizado por un periodo relativamente corto y su extensivo uso ha aumentado durante los últimos años, sus aplicaciones se han visto sujetas a una presión cada vez mayor debido al peligro que representan para el medio ambiente. [7, 16]

### **3.6 EFECTOS EN EL MEDIO ABIÓTICO**

La mayor parte del cadmio que se emite a la atmósfera se deposita en la tierra y en las aguas de la región cercana a la fuente de emisión. A partir de ésta, el cadmio es ingerido por los organismos y transportado

a todos los eslabones de las cadenas alimenticias. Esta vía de asimilación es la principal ruta del cadmio para los animales y el hombre.

3.6.1 AGUAS. — En las aguas superficiales, el cadmio se presenta como ión libre y en su solubilidad influyen la dureza, el pH, los complejos solubles y los sulfuros coloidales de éstas; en este medio se une a la materia particulada. Cuando las aguas dulces llegan al mar, el ión cadmio  $2+$ , al igual que los iones de otros metales pesados, tiende a depositarse en los sedimentos y así queda limitado a las aguas de las costas y los estuarios. Esta inmovilización es potencialmente peligrosa, ya que pueden llegar a disolverse de nuevo si el pH disminuye.

Por lo general, las concentraciones de este elemento en el agua potable son menores a  $5 \mu\text{g/L}$  mientras que en el agua de mar, oscilan entre  $0.04$  y  $0.03 \mu\text{g/L}$ . La contaminación del agua potable con cadmio puede ocurrir como resultado de la presencia de impurezas de cadmio en las tuberías galvanizadas de zinc o en la soldadura, en los calentadores de agua, grifos, etc.

También ha ocurrido contaminación del agua potable por la filtración de cadmio a los mantos freáticos a partir de los lodos que contengan óxidos de cadmio.

3.6.2 SUELOS. — Generalmente, las concentraciones de este elemento son inferiores a  $1 \text{ mg/kg}$  en suelos y se mantienen entre  $0.01$  a  $0.5 \text{ mg/kg}$ . Las principales variaciones en el contenido de cadmio en este tipo de suelos se debe a la composición de la roca madre y al suministro de metales que provienen de fertilizantes, abonos, agroquímicos y la contaminación atmosférica. En los suelos ácidos, el cadmio se intercambia fácilmente, lo que lo hace disponible para las planta, como lo ejemplifica la **FIGURA 5**.

Los lodos de las aguas negras y los superfosfatos que se utilizan en la agricultura pueden también contaminar el suelo con cadmio ya que los suelos tratados con ellos pueden llegar hasta  $100 \text{ mg}$  de cadmio por kilogramo de peso seco. En lugares cercanos a industrias, el contenido de cadmio en los suelos puede ser elevado.

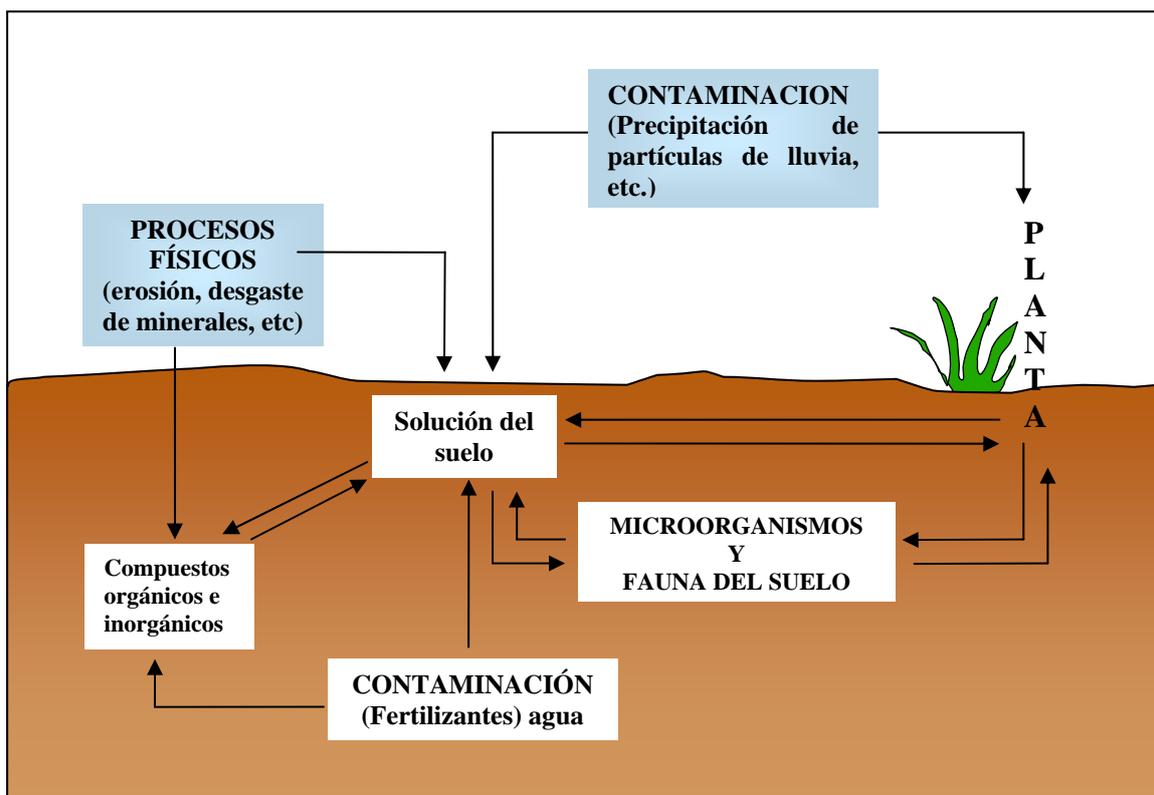


FIGURA 5. TRANSPORTE DEL CADMIO EN EL SUELO

3.6.3 AIRE.— Debido a que el cadmio es un metal relativamente volátil no se puede evitar que durante los procesos de soldadura se libere en altas concentraciones hacia la atmósfera. Los valores promedio de este metal en el aire son de aproximadamente  $0.002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En resumen, es evidente que grandes cantidades de cadmio se movilizan constantemente a través de las actividades del hombre y que se dispersan en toda la atmósfera. Las concentraciones de cadmio de origen natural en los principales ecompartimentos han aumentado durante la industrialización y, se han detectado elevadas concentraciones de cadmio en algunos vegetales y animales. A pesar de que aún no se hacen patentes los daños que éste provoca en el ecosistema, sin duda alguna, algunas especies animales se encuentran en peligro; por lo que se debe prestar atención a estas tendencias y se deben de tomar medidas para así poder reducir hasta donde sea posible la liberación constante de cadmio en la atmósfera. [15]

### 3.7 EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE BIÓTICO

En la actualidad existe una restricción constante en el uso del cadmio, tanto para las aplicaciones existentes como para el desarrollo de nuevas tecnologías. Esto último se debe a que se ha comprobado que el cadmio es persistentemente tóxico aún en concentraciones muy pequeñas y a que se concentra fuertemente en las cadenas alimenticias.

Su tiempo de vida media en los organismos (especialmente en los mamíferos) es indefinido y puede durar varios años.

3.7.1 VEGETALES. — Las plantas no tienen mecanismos para excretar el cadmio y, una vez que lo absorbieron, lo retienen en sus tejidos. Sin embargo, la acumulación generalmente es mayor en las raíces que en la parte aérea de la planta y esto tiende a restringir el movimiento del catión a las cadenas alimenticias.

3.7.2 ANIMALES.— En los organismos marinos, zooplancton, moluscos, y otros organismo filtradores principalmente, las concentraciones de cadmio son mucho más elevadas que en agua de mar; los factores de concentración están en el intervalo de  $10^3$  a  $10^4$ . [17]

### 3.8 TOXICOCINÉTICA

Actualmente se ha puesto especial atención en el metabolismo de este elemento ya que sus concentraciones en el ambiente han aumentado y, por lo tanto, pueden tener efectos adversos sobre el ser humano. Además, su estructura atómica se parece mucho a la del zinc, lo que permite que lo sustituya en algunas enzimas que catalizan la degradación de péptidos<sup>8</sup>. En este caso, dicha sustitución podría inhibir la acción enzimática correspondiente.

---

<sup>8</sup> Péptido. Secuencias formadoras de aminoácidos

### 3.8.1 ABSORCIÓN

3.8.1.1 ABSORCIÓN GASTROINTESTINAL.— Cantidades considerables de este elemento se ingieren a través de los alimentos, lo cual es muy importante sobre todo para la población que no está expuesta ocupacionalmente.

Las personas con baja proporción de hierro en la sangre tienen una absorción promedio cuatro veces mayor que los individuos con concentraciones normales de hierro, este factor y otros, como la deficiencia de proteínas, calcio, etc., pueden favorecer considerablemente la absorción de cadmio. La dieta proteínica de los seres humanos está constituida en su mayor parte por alimentos de origen animal, en los cuales, el cadmio se encuentra unido a las proteínas, lo que facilita una mayor ingestión de este elemento. Al igual que en el caso de plomo, se ha demostrado que los animales más jóvenes absorben mayores cantidades de cadmio que los viejos.

3.8.1.2 ABSORCIÓN RESPIRATORIA.— El cadmio, entra al organismo por la vía inhalatoria principalmente en forma de aerosol. Entre el 10 y el 50% de las partículas de cadmio que son inhaladas, se depositan en los pulmones. En este caso, el porcentaje de absorción es del 15% al 30% en condiciones normales; pero en los fumadores y las personas expuestas ocupacionalmente, estos porcentajes se elevan hasta fluctuar entre un 25 y un 50%.

### 3.8.2 TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

Después de ser absorbido, el cadmio se transporta por la sangre a todas las partes del cuerpo. En animales de experimentación, se ha encontrado que se retiene en los glóbulos rojos, en donde se une con proteínas de bajo peso molecular, probablemente las metalotioneinas<sup>9</sup>. El cadmio tiene una fuerte afinidad por el hígado y los riñones por lo que se encuentra en ellos en mayores concentraciones que en otros órganos.

---

<sup>9</sup> Metalotioneinas. Proteínas de que tienen gran afinidad por el cadmio (catión) uniéndose a el hígado y los riñones, es soluble y de bajo peso molecular. Tiene como característica la ausencia de aminoácido aromáticos, alto contenido de cisterna, y por supuesto gran afinidad por ciertos metales. Puede ser la causante del largo briosos de vida media biológica del cadmio

En seres humanos expuestos por largo tiempo a bajas concentraciones, se encontró que aproximadamente 50% del cadmio es retenido tanto en el hígado como en los riñones; este último órgano retiene una tercera parte de la carga corporal total

Ya que el cadmio es acumulativo, las concentraciones en los tejidos alcanzan su máximo de 30mg (20-50 mg) cuando el individuo llega a los 50 - 60 años, después existe un ligero descenso. Otros órganos en los que se acumula el cadmio son el páncreas y las glándulas salivales. La placenta actúa como una barrera eficaz para este elemento y no permite su paso al feto, por lo que las concentraciones en el recién nacido son inferiores a 1 µg. [18]

### 3.8.3 ELIMINACIÓN

La principal vía de eliminación del cadmio en el hombre es la orina; en promedio, las concentraciones en ella son inferiores a 5µg/ día. Tanto la bilis, como las secreciones de las glándulas parótidas y del páncreas, contribuyen a la eliminación fecal del cadmio. Sólo pequeñas cantidades de cadmio se llegan a eliminar por el sudor, la exfoliación epitelial y el pelo.

## 3.9 EFECTOS EN EL HOMBRE

3.9.1 INGESTIÓN.— La ingestión de alimentos o bebidas contaminadas con cadmio puede acusar trastornos agudos en el tracto gastrointestinal. Los síntomas incluyen náuseas, salivación, vómito, dolor abdominal tipo cólico y dolor de cabeza. En casos más severos se pueden presentar diarrea y shock.

Hace algunos años, el uso de cadmio para recubrir utensilios de cocina y el almacenamiento de jugos de frutas ácidas en recipientes de cerámica, provocaron varios casos de intoxicación; pero en la actualidad, se han prohibido esos tipos de utensilios y de prácticas en la mayoría de los países, lo que ha disminuido el riesgo de intoxicaciones por esas causas.

3.9.2 INHALACIÓN.— Los síntomas que produce la inhalación de cadmio son dolor de cabeza, irritación del tracto respiratorio, resequedad nasal y de la traquea, tos disnea, escalofríos, debilidad general, respiración agitada, fiebre y, en casos más severos, insuficiencia respiratoria con shock y al final, la muerte.

Este tipo de intoxicación se debe, principalmente, a la inhalación de humos generados por la soldadura de materiales que contienen cadmio o por la refinación o fundición de otros materiales. Esto ocurre, sobre todo, en lugares con poca ventilación.

Algunos investigadores sugieren que la concentración letal de polvos de óxido de cadmio para seres humanos es de  $5 \text{ mg/m}^3$ , inhalados durante un periodo de ocho horas [7]. En personas mucho más sensibles, la inhalación de óxido de cadmio en concentraciones de aproximadamente  $1 \text{ mg/m}^3$  durante el mismo intervalo, produce síntomas evidentes de intoxicación.

3.9.3 INTOXICACIÓN CRÓNICA. — Por lo general, la intoxicación crónica ocurre con más frecuencia en la industria. Este tipo de intoxicación se caracteriza por enfisema pulmonar y daño renal con proteinuria<sup>10</sup>. La relativa gravedad del daño renal o pulmonar dependen de la intensidad de la exposición y de la susceptibilidad del individuo.

3.9.4 EFECTOS EN EL SISTEMA ÓSEO. — Estos efectos se relacionan con el daño al riñón, ya que el cadmio interfiere en el metabolismo del calcio. El cadmio acelera el proceso de osteoporosis causado por la deficiencia del calcio.

Se deduce que los cambios en los huesos son secundarios al daño producido en el riñón y que posiblemente, están asociados con una alteración en el metabolismo de la vitamina D. Sin embargo, existe la posibilidad de que la lesión en los huesos pueda resultar de la acción directa del metal con el tejido óseo o de su interferencia con el sistema endocrino [8]. Estas dos últimas hipótesis pueden explicar la osteoporosis debida a la intoxicación crónica con cadmio. [14]

---

<sup>10</sup> Proteinuria: Presencia de proteínas en orina

## **4. CROMO**

### **4.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

El Cromo nunca se halla en estado libre en la naturaleza, aunque sus compuestos están muy diseminados. Algunos minerales y piedras preciosas deben su color al cromo. La fuente mineral más importante del cromo es la cromita ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y se utiliza para fines comerciales.

Los compuestos de cromo desempeñan un papel importante, el cromo trivalente es un nutriente esencial para casi todos los vertebrados, debido al papel que desempeña en el mantenimiento de la tolerancia a la glucosa. Los estados carenciales estudiados en animales muestran que la deficiencia de cromo en la dieta conduce a la aparición de un síndrome similar a la diabetes. Se sabe que estos compuestos tienen efectos nocivos en los seres humanos expuestos a compuestos de cromo hexavalente en cantidades superiores a las naturales, como ha ocurrido en muchos casos a lo largo de la historia.<sup>11</sup> [19]

### **4.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

El cromo es un elemento blanco azulado, muy duro. Pertenece al grupo VI de los elementos de transición y sus valencias son +2, +3 y +6. El cromo hexavalente,  $\text{Cr}^{+6}$ , es más tóxico que el trivalente,  $\text{Cr}^{+3}$ . Este último se encuentra en la cromita pero al entrar en contacto con el oxígeno del aire, se oxida convirtiéndose en  $\text{Cr}^{+6}$ . El cromo forma compuestos ácidos de cromo y sales de cromo

A continuación en el **CUADRO 2** se muestran los estados de oxidación de este metal, así como el compuesto en el que está presente [19]

---

<sup>11</sup> Cromatos de México.[9]

ESTADOS DE OXIDACIÓN	COMPUESTO
+6 $\text{CrO}_3$ , $\text{CrO}_4^{--}$ , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{--}$	Trióxido de cromo Ión cromato Ión dicromato
+3 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , $\text{Cr}^{+++}$	Óxido crómico Ión crómico
+2 $\text{Cr}^{++}$	Ión cromoso
0 $\text{Cr}^0$	Cromo metálico

CUADRO 2. CROMO

### 4.3 FUENTES Y USOS DEL CROMO

4.3.1 FUENTES NATURALES.— El cromo está en la cromita y en otros minerales que se encuentran en la corteza terrestre. Por esto, el cromo siempre ha estado presente en el suelo, el aire y el agua del planeta transfiriéndose de un sitio a otro por su ciclo ambiental que se esquematiza en la FIGURA 7. En el agua dulce, está en concentraciones de 0.1 a 6  $\mu\text{g/L}$ , en el agua de mar de 0.2 a 50  $\mu\text{g/L}$ , en el suelo de 5 a 1500 mg/kg.

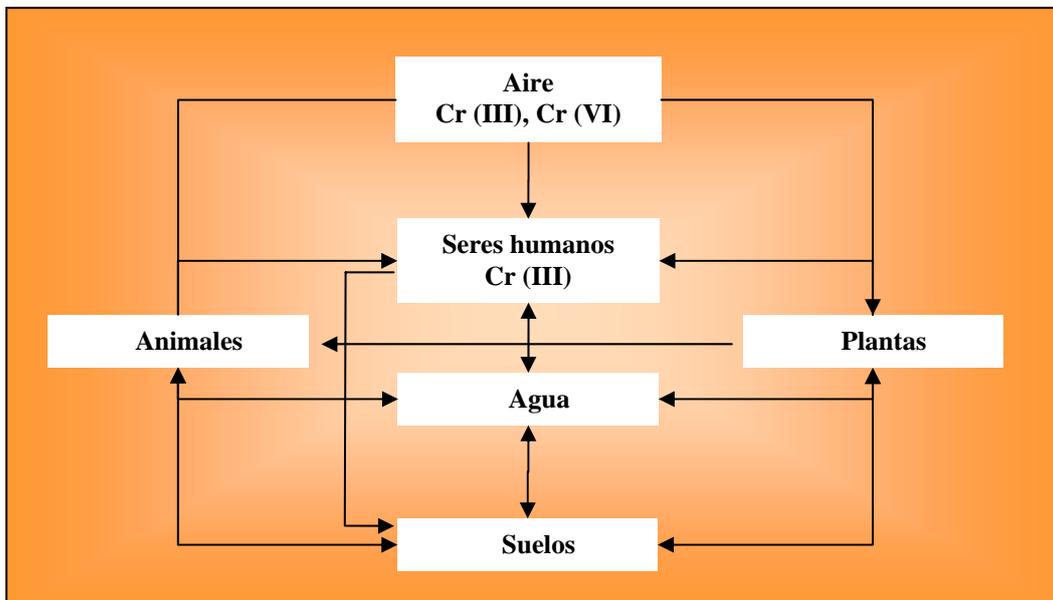


FIGURA 7.CICLO AMBIENTAL DEL CROMO

4.3.2 FUENTES ANTROPOGÉNICAS. — Entre las fuentes antropogénicas de cromo están la extracción de compuestos de cromo a partir de la cromita

4.3.3 USOS — Es muy usado en la industria química, ya que se usa en la fabricación de colorantes, pigmentos, plaguicidas, el cromado electrolítico o galvanoplastia y el curtido de cueros y pieles, el uso de compuestos de cromo como mordientes en teñido de telas y otros usos menores como conservación de la madera, fotograbado, fabricación de cerillos, explosivos, linóleo, etc. [7,19]

#### **4.4 EFECTOS EN EL MEDIO ABIÓTICO**

En los lugares cercanos a las industrias que trabajan con compuestos de cromo, se ha observado que los polvos de desecho en el proceso de la fabricación de cromatos así como los polvos de las chimeneas producen corrosión en la pintura de las casas, automóviles, etc.

#### **4.5 TIPOS DE EXPOSICIÓN**

4.5.1 EXPOSICION OCUPACIONAL. — Incluye a las personas que trabajan en minas de las que se extrae este elemento y en industrias y fábricas que lo procesan

4.5.2 EXPOSICION AMBIENTAL. — Incluye a los organismos que viven cerca de las industrias, a los que viven en ecosistemas acuáticos y terrestres en donde se desechan compuestos de cromo y también a los que ingieren el cromo hexavalente a través de alimentos y agua contaminada. [20]

#### **4.6 TOXICOCINETICA**

##### **4.6.1 ABSORCION**

El cromo puede entrar al organismo humano por inhalación, ingestión y, en mucho menor medida, por absorción a través de la piel. En el caso de los trabajadores, las más importantes de estas vías son la inhalación y el contacto dérmico, mientras que para la población general, la más importante es la oral

4.6.1.1. VIA RESPIRATORIA.— Es la vía más importante en el caso de personas expuestas laboralmente, ya que en este medio predominan los vapores, aerosoles y polvos de cromo.

4.6.1.2 VIA DIGESTIVA. — Es una vía secundaria, pero importante en el caso de ingestión accidental en seres humanos y en caso de ingestión inevitable en la fauna acuática.

4.6.1.3 VIA CUTÁNEA. — Esta vía es importante en el caso de los seres humanos que están en contacto con compuestos de cromo por medio de la piel y las mucosas (nasal y de los ojos), así como en el caso de los organismos acuáticos.

Normalmente, el cromo en concentraciones naturales, se deposita en la piel, pulmones, músculos y grasa de mamíferos superiores pero, cuando se encuentra en cantidades superiores a las naturales y/o por largo tiempo, se acumula en el hígado, bazo, espina dorsal, cabello, uñas y placenta.

#### 4.6.2 TRANSPORTE Y DISTRIBUCION

La pequeña fracción de cromo que se absorbe en el intestino pasa a la sangre, de donde se distribuye a los diferentes órganos. Una vez que ha sido absorbido, el cromo (III) no pasa fácilmente a las membranas celulares, sino que se une a la transferrina<sup>12</sup>. En contraste, después de la absorción, el cromo (VI) pasa rápidamente a los eritrocitos donde se convierte en cromo (III), el cual tiene capacidad para dañar el ADN por diversos mecanismos. Independientemente de su origen esto es, si se absorbió como tal, o es producto de la reducción del cromo (VI); el cromo (III) esta ampliamente distribuido en el organismo y representa la mayor parte del cromo presente en el plasma y los tejidos así mismo se deposita principalmente en medula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, riñones e hígado.

---

<sup>12</sup> Transferrina. Es una proteína del plasma que transporta el hierro

### 4.6.3 ELIMINACIÓN

La excreción de cromo ocurre principalmente a través de la orina y no hay una retención importante en los órganos. En los seres humanos, en las ocho horas siguientes a la absorción, el riñón excreta en forma de cromo (III), aproximadamente el 60% del cromo (VI) que se haya absorbido.

Alrededor del 10% de la dosis de cromo absorbida se elimina mediante excreción biliar y cantidades menores se eliminan con el cabello, las uñas, la leche, y el sudor. [19, 20]

### 4.7. EFECTOS EN EL HOMBRE

Los compuestos de cromo pueden ingresar al organismo humano por exposición accidental. Los efectos que se pueden presentar son los siguientes:

#### INTOXICACIÓN AGUDA POR INGESTIÓN DE COMPUESTOS DE CROMO

Efectos
✓ Daño gastrointestinal
✓ Insuficiencia hepático-renal
✓ Lesiones nasales, cutáneas, hepáticas y renales

Además los compuestos de cromo pueden penetrar en el organismo por exposición crónica y dañar diversos sistemas. Cuando los compuestos de cromo se ingieren por largo tiempo causan irritaciones, úlceras, hepatitis, etc.

#### INTOXICACIÓN CRÓNICA POR INGESTIÓN DE COMPUESTOS DE CROMO

Efectos
✓ Irritación gastrointestinal
✓ Úlcera gastrointestinal
✓ Hepatitis
✓ Daño a riñón
✓ Erosión y color amarillo de los dientes

En los ojos expuestos crónicamente a compuestos de cromo, se observan conjuntivitis, lagrimeo y dolor. El ácido crómico y sus sales tienen acción corrosiva sobre la piel de manos y antebrazo y las membranas mucosas del tabique nasal

**INTOXICACIÓN CRÓNICA POR COMPUESTOS DE CROMO, EFECTOS SOBRE LA PIEL**

Efectos
✓ Dermatitis
✓ Llagas en las piernas y glúteos
✓ Úlcera de dedos, uñas y articulaciones

Las sales de cromo son reconocidos cancerígenos de pulmón, cavidad nasal y seno paranasal. Las úlceras del tabique nasal evolucionan lentamente, forman una costra y dejan como secuela una cicatriz sobre la membrana mucosa. Si la exposición continúa, la perforación puede producir deformación de la nariz [21]

**INTOXICACIÓN CRÓNICA POR COMPUESTOS DE CROMO, EFECTOS SOBRE EL SISTEMA RESPIRATORIO**

Efectos
✓ Rinitis
✓ Úlcera nasal
✓ Bronquitis
✓ Alteración del olfato
✓ Hemorragia nasal
✓ Dolor nasal
✓ Laringitis
✓ Perforación del tabique nasal
✓ Fibrosis pulmonar

## 5. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA)

### 5.1 GENERALIDADES

La absorción atómica es un método muy utilizado para la determinación de metales por ser un método muy sensible, específico y rápido. El gran avance en la tecnología ha logrado que mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica se pueda conocer la cantidad de metales pesados, como el plomo, cromo, cadmio, selenio, etc. de muestras de alimentos, de tejidos, de fluidos, etc.

La Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) utiliza la luz absorbida por los átomos en fase gaseosa para cuantificar su concentración. Las muestras que se analizan pueden ser sólidas o líquidas sin importar la especie química que se trate. Sin embargo es necesario para el análisis vaporizar la muestra mediante una flama o un horno de grafito. [22, 23]

Para determinar la concentración de metales presentes en la muestra se utiliza la Ley de Beer-Lambert como cualquier otra técnica espectroscópica, el uso de curvas de calibración en esta metodología también es necesaria.



FIGURA 8. ESPECTROMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA QUE SE OCUPÓ

### **III. JUSTIFICACIÓN**

De 1973 a 1997 operó en La Ex Hacienda El Hospital ubicada en el municipio de Cuautla Morelos, la fábrica alemana BASF que se dedicaba a hacer pinturas de tránsito a base de plomo, cromo y cadmio además de otros metales pesados (La Jornada, 2005).

Se han desarrollado estudios en la Ex Hacienda para verificar el grado de contaminación que está presente en ella, y se ha encontrado que la concentración de metales pesados en suelo como plomo y cromo rebasan los niveles permitidos hasta por 500 ppm (Zelaya, 2005) .

### **IV. OBJETIVOS**

#### **– OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar si la población estudiada que vive en los alrededores de la Ex – Hacienda presenta niveles cuantificables de metales pesados en sangre.

#### **– OBJETIVOS PARTICULARES**

- Cuantificar niveles de Plomo, Cromo y Cadmio en sangre de las personas seleccionadas en el estudio.
- Estudiar la influencia de dichos metales en la salud de la población.
- Divulgar los resultados que se obtengan a los participantes en el estudio.

## V. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Todos los procedimientos que se realizaron fueron de acuerdo a lo estipulado en la NORMA Oficial Mexicana 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.

Se obtuvo el consentimiento por parte de los donadores para la realización de este estudio.

### 1. Población muestreada

Los individuos que donaron las muestras de sangre fueron tomados a partir de una encuesta realizada a 80 personas en donde se les preguntó lo siguiente y que fue realizada durante el mes de Agosto de 2005:

Nombre: _____			
Edad: _____ Sexo: M F Tiempo de residencia: _____			
Lugar donde labora o laboró: _____			
Tiempo que estuvo trabajando: _____			
Ha tenido o sufrido de alguno de los siguientes síntomas recientemente:			
No.	Síntoma	F <sup>1</sup>	N <sup>2</sup>
1	Cólicos en el estómago		
2	Náuseas o vómitos		
3	Insomnio		
4	Anemia		
5	Resequedad nasal		
6	Respiración agitada		
7	Edema pulmonar		
8	Enfisema pulmonar		
9	Dolores reumáticos		
10	Hepatitis		
11	Llagas en las piernas		
12	Bronquitis		
13	Hemorragia nasal		
14	Dermatitis		
<sup>1,2</sup> <b>Frecuente, Nunca</b>			
<b>Para mujeres solamente:</b>			
1. Ha tenido abortos: SI NO Si la respuesta es SI cuántos? _____			
Para población en general:			
1. Consume sus alimentos en ollas de barro: SI NO			
- En caso de que la respuesta sea SI, la olla donde cocina es brillante: SI NO			
2. De donde obtiene el agua que usa para su consumo?			
- Llave - Garrafón - Otra: _____			
3. Los vegetales consumidos son cosechados por usted mismo : SI NO _____			

### Fundamento de la encuesta

- Plomo (síntoma del 1 al 4) incluyendo abortos (mujeres solamente)
  - Cólicos en el estómago
  - Náuseas o vómitos
  - Insomnio
  - Anemia
- Cromo (síntoma del 5 al 9)
  - Resequedad nasal
  - Respiración agitada
  - Edema pulmonar
  - Enfisema pulmonar
  - Dolores reumáticos
- Cadmio (síntoma del 10 al 14)
  - Hepatitis
  - Llagas en las piernas
  - Bronquitis
  - Hemorragia nasal
  - Dermatitis

### 2. Toma de la muestra. Conforme lo indica la NOM-199-SSA1-2000: [27]

Toma de la muestra. La toma de la muestra se realiza el día **21 de Agosto de 2005** la sangre se recolecta en tubos de extracción de sangre al vacío de 3 a 10 mL de capacidad, que contengan anticoagulante K<sub>3</sub>EDTA (EDTA al 15%/mL de sangre), de heparina sódica.

Procedimiento para la toma de sangre venosa. Se lava perfectamente el sitio de la toma de la muestra (brazo), con agua y alcohol al 70%, se deja secar. Se realiza la punción venosa como se indica en la **FIGURA 9** y se toma la muestra. Se obtienen al menos 10 mL de sangre de cada paciente. Se agitan suavemente por inversión los tubos en donde se colectó la muestra, mínimo 10 veces, para mezclar el anticoagulante. Se etiquetan e identifican con tinta indeleble cada tubo con la siguiente información: a) nombre de la persona y b) número de clave o código asignado, c) fecha en que se tomo la muestra.



**FIGURA 9. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRA SANGUÍNEA**

Cabe señalar que se utilizaron agujas estériles así como un recipiente para el desecho de material con residuos peligrosos, biológico-infecciosos (NOM-087-ECOL-1994).

Las muestras inmediatamente se pusieron en hielo para su traslado a la Ciudad de México, manteniéndose a una temperatura de 4°C. Al llegar al laboratorio donde se iban a analizar las muestras se congelaron para posterior análisis. Cabe mencionar que el análisis de la muestra no fue mayor a tres semanas a partir del día de la toma de la muestra.

### **3. Cuantificación de plomo. [24**

La cuantificación de plomo en sangre se realiza a través de espectroscopia de absorción atómica.

A partir de las muestras de sangre y estándares de concentración conocida, se obtienen átomos de plomo en estado elemental; que se hacen pasar a través de un haz de luz de 283.3 nm y se mide la cantidad de luz absorbida, que es proporcional al número de átomos presentes; para ello:

- a)** Se acondicionan las muestras de sangre y los estándares con modificador de matriz.
- b)** Se colocan en forma individual y automatizada en una plataforma de L'vov de temperatura estable, instalada en un tubo de grafito pirolítico.
- c)** Se someten a un tratamiento térmico inducido por resistencia eléctrica.

- d) Se hace pasar a través de la nube atómica obtenida, un haz de luz generado por lámparas específicas de cátodo hueco.
- e) Se obtiene la respuesta instrumental de absorbancia integrada, usando un corrector de fondo (lámpara de arco de deuterio).
- f) Se compara la absorbancia integrada de muestras y estándares para obtener la concentración de plomo en la sangre estudiada.

**Condiciones estándar para plomo**

Aparato	Espectrofotómetro Perkin-Elmer 3100 con horno de grafito HGA-2200
Parámetros del espectrofotómetro	
Lámpara	Lámpara de plomo de cátodo hueco
Longitud de onda	283.3 nm
Corrección de fondo	Lámpara de arco de deuterio
Gas inerte	Argón
Flujo	Normal (10 unidades)

**4. Cuantificación de cromo. [24]**

La cuantificación de cromo en sangre se realiza a través de espectroscopia de absorción atómica.

A partir de muestras de sangre y estándares de concentración conocida, se obtienen átomos de cromo en estado elemental; se hace pasar a través de éstos un haz de luz de 357.9 nm y se mide la cantidad de luz absorbida, que es proporcional al número de átomos presentes se siguen los mismos pasos que para plomo (a-f)

### Condiciones estándar para cromo

Aparato	Espectrofotómetro Perkin-Elmer 3100 con horno de grafito HGA-2200
Parámetros del espectrofotómetro	
Lámpara	Lámpara de cromo de cátodo hueco
Longitud de onda	357.9 nm
Corrección de fondo	Lámpara de arco de deuterio
Gas inerte	Argón
Flujo	Normal (10 unidades)

### 4. Cuantificación de cadmio. [24]

La cuantificación de cadmio en sangre se realiza a través de espectroscopia de absorción atómica. A partir de muestras de sangre y estándares de concentración conocida, se obtienen átomos de cromo en estado elemental; se hace pasar a través de éstos un haz de luz de 228.8 nm y se mide la cantidad de luz absorbida, que es proporcional al número de átomos presentes se siguen los mismos pasos que para plomo (a-f)

### Condiciones estándar para cadmio

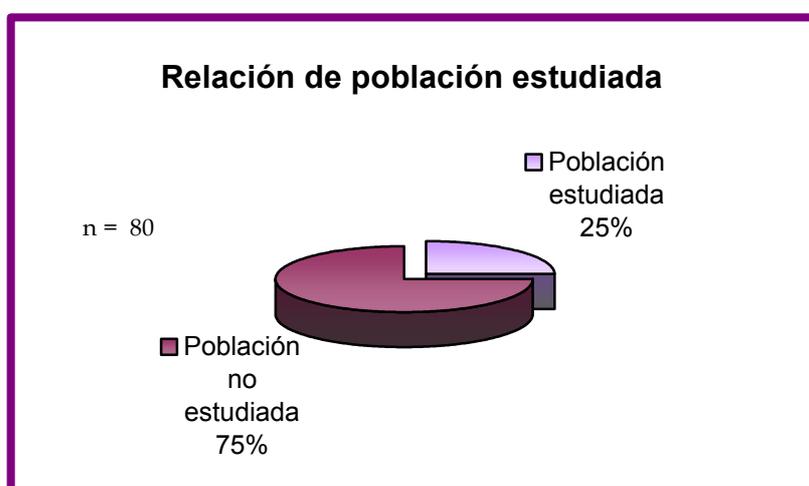
Aparato	Espectrofotómetro Perkin-Elmer 3100 con horno de grafito HGA-2200
Parámetros del espectrofotómetro	
Lámpara	Lámpara de cromo de cátodo hueco
Longitud de onda	228.8 nm
Corrección de fondo	Lámpara de arco de deuterio
Gas inerte	Argón
Flujo	Normal (10 unidades)

## IV. RESULTADOS

### 1. ENCUESTAS

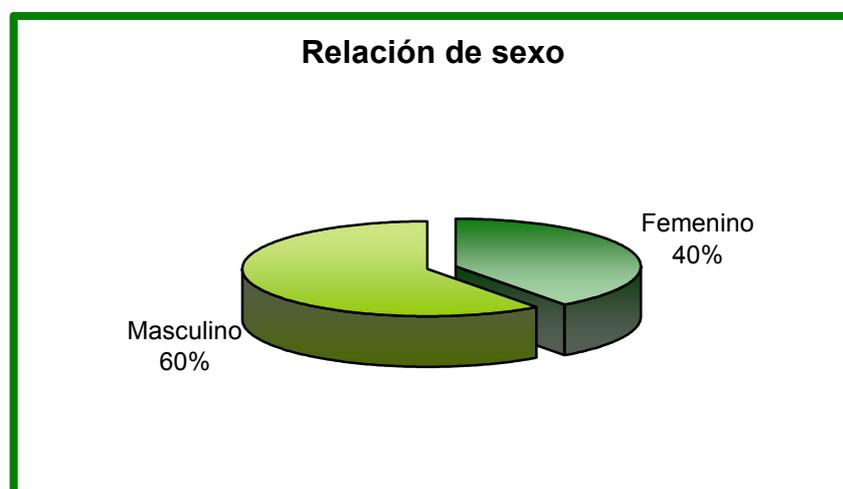
El objetivo, como ya se mencionó, es determinar si existen niveles cuantificables de metales pesados en sangre de los habitantes seleccionados y su probable influencia en la salud de los mismos.

De un total de 80 personas encuestadas en los alrededores de la Ex – Hacienda de la Concepción solo se eligieron a 20 personas que presentan frecuentemente los síntomas anteriormente mencionados (procedimiento experimental) siendo a los que se les practica el estudio. (GRÁFICA 1)



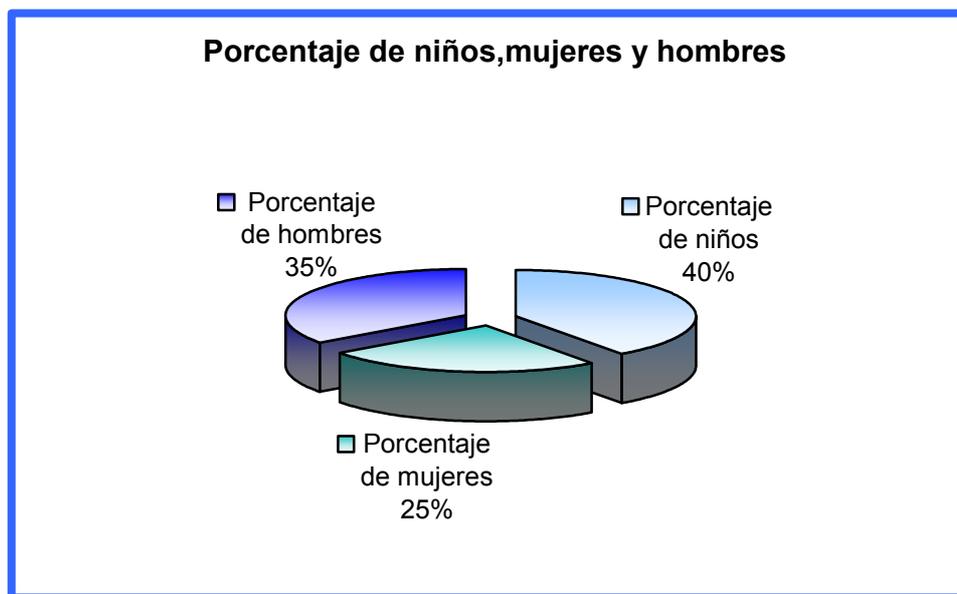
GRÁFICA 1. Relación de población estudiada

De las personas estudiadas, el 100% son residentes de los alrededores de la Ex Hacienda. De éstos 40% son de sexo femenino y el restante 60% es de sexo masculino. (GRÁFICA 2)



GRÁFICA 2. Distribución por sexo de la población estudiada

Las edades de los individuos muestreados varían, a continuación se presenta en la **GRÁFICA 3** el porcentaje de niños (menores de 15 años), mujeres y hombres .



**GRÁFICA 3.** Porcentaje de niños, mujeres y hombres analizados

Cabe mencionar que de las personas estudiadas el 90 % no cocina en olla de barro, siendo así este parámetro no tiene relación con la cantidad de plomo que se pueda encontrar en sangre **GRÁFICA 4**.



**GRÁFICA 4.** Porcentaje de personas que consumen sus alimentos en ollas de barro

## **2. LINEALIDAD DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN PARA EL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

Se construyó una curva de calibración partiendo de un estándar de trabajo de concentración conocida de 10  $\mu\text{g/mL}$  para el plomo y de 5  $\mu\text{g/L}$  para el cromo; y mediante diluciones adecuadas se obtuvieron estándares de 5, 10, 25, 50, 75  $\mu\text{g/mL}$  para plomo y 1, 2, 3,4 y 5  $\mu\text{g/L}$  para cromo.

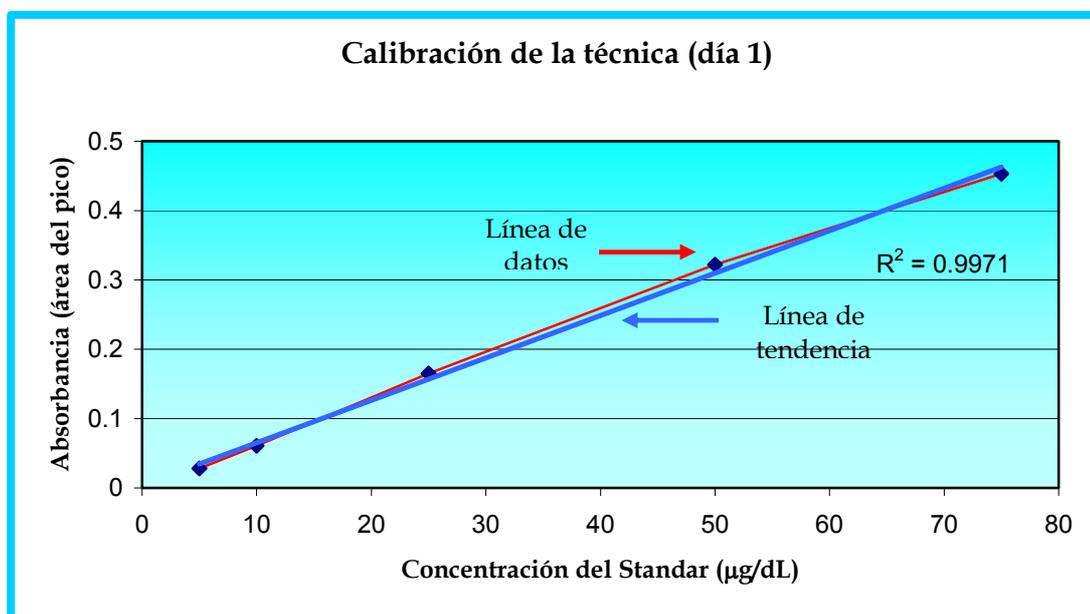
De las soluciones preparadas se tomaron 20  $\mu\text{L}$  con una pipeta eppendorf (mecánicamente) y se introdujeron al horno de grafito del aparato directamente. La señal del instrumento se graficó usando un registrador Perkin-Elmer 3100 conectado a la salida del espectrofotómetro. Para conocer la concentración de las muestras en cada corrida, la curva se construyó midiendo la altura del pico en mm contra la concentración de los estándares, de los cuales se calcularon las concentraciones de las muestras interpolando. En todo el intervalo de concentraciones de las muestras la curva de calibración fue lineal.

## 2.1 Determinación de Plomo

El análisis de Pb en sangre se llevó a cabo en 3 días y cada muestra se analizó por triplicado teniendo que calibrar cada día el aparato obteniéndose las curvas de calibración siguientes:

### DÍA 1

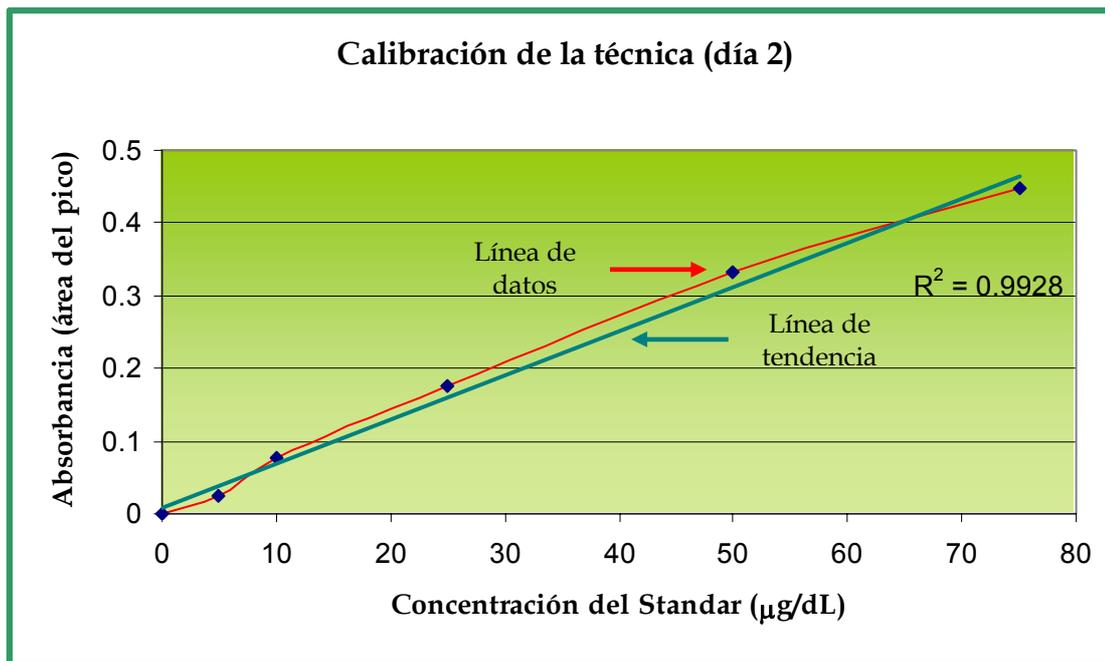
Estándar ID Calib. Blanco	Señal Absorbancia	Concentración calculada	Desviación Estándar	% RSD
0	0.000	0.000	0.001	12.701
5	0.028	4.483	0.000	1.622
10	0.061	9.823	0.001	2.360
25	0.165	26.60	0.001	0.406
50	0.322	51.90	0.001	0.361
75	0.453	73.12	0.004	0.929



**GRÁFICA 5.** Curva de calibración de la técnica Día 1

**DÍA 2**

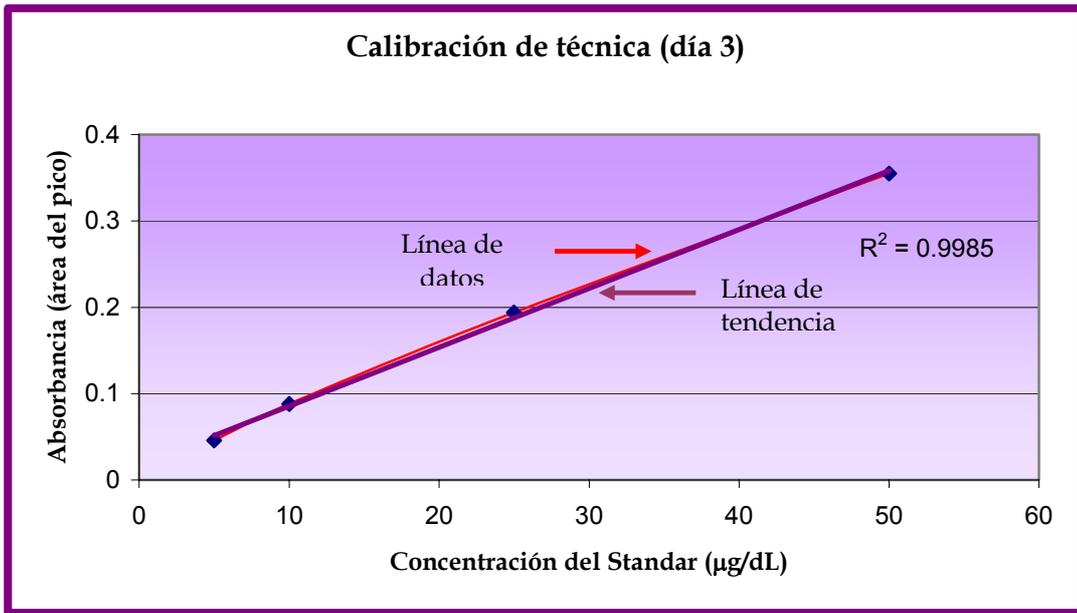
Estándar ID Calib. Blanco	Señal Absorbancia	Concentración calculada	Desviación estándar	% RSD
0	0.000	0.000	0.002	9.057
5	0.026	4.108	0.003	10.597
10	0.077	12.31	0.002	2.189
25	0.175	27.87	0.001	0.528
50	0.332	52.94	0.004	1.344
75	0.448	71.35	0.004	0.844



**GRÁFICA 6.** Curva de calibración de la técnica Día 2

**DÍA 3**

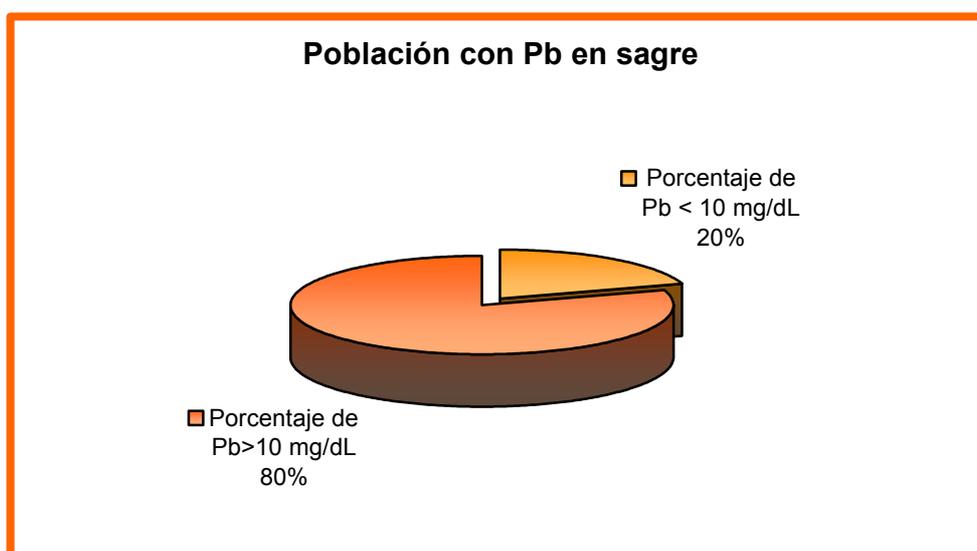
Estándar ID Calib. Blanco	Señal Absorbancia	Concentración calculada	Desviación estándar	% RSD
0	0.000	0.000	0.003	30.386
5	0.046	6.272	0.002	4.198
10	0.088	11.99	0.003	2.964
25	0.194	26.52	0.003	1.638
50	0.355	48.51	0.002	0.455



GRÁFICA 7. Curva de calibración de técnica Día 3

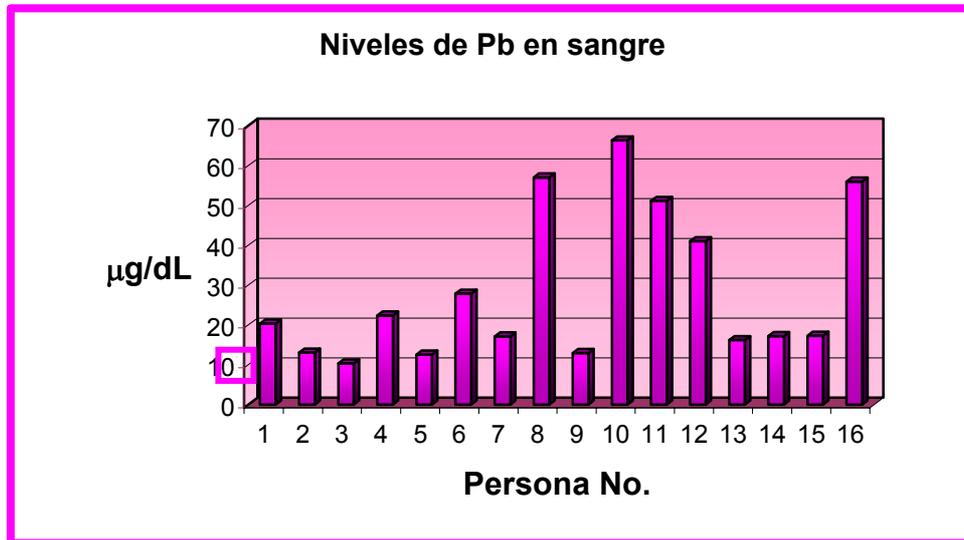
Del análisis que se obtuvo en cuanto a la cuantificación de Pb en sangre por medio de Espectroscopia de Absorción Atómica se obtiene que el 100% de la población analizada aparece con niveles cuantificables de Pb en sangre (dándose los resultados a continuación), aunque solo 16 casos presentan concentraciones mayores a 10  $\mu\text{g/dL}$  (GRÁFICA 8).

No. persona	Concentración obtenida de Pb ( $\mu\text{g/dL}$ )	Edad	Sexo
1	20.32	39	Femenino
2	13.09	27	Masculino
3	10.37	46	Masculino
4	22.43	12	Masculino
5	12.56	2	Femenino
6	27.88	4	Masculino
7	17.14	7	Femenino
8	57.00	46	Femenino
9	12.95	12	Masculino
10	66.34	18	Masculino
11	51.14	63	Masculino
12	41.06	29	Femenino
13	16.22	59	Masculino
14	17.19	55	Masculino
15	17.29	13	Masculino
16	56.00	53	Masculino
17	3.08	29	Femenino
18	7.08	68	Masculino
19	5.94	9	Femenino
20	3.49	41	Femenino



GRÁFICA 8. Porcentaje de la población que sale con concentraciones mayores a 10  $\mu\text{g/dL}$  de Pb en sangre

A continuación en la **GRÁFICA 9** se muestran los resultados donde se observan todos los valores obtenidos de la cuantificación de Pb en las personas que se encuentran por arriba de los 10  $\mu\text{g/dL}$ .



**GRÁFICA 9.** Niveles de Pb en sangre de las personas analizadas

Se tomó un control con la hipótesis de que al no vivir en la población no debería contener altas concentraciones de plomo en sangre, sin embargo éste, siempre ha vivido en la Ciudad de México y seguramente el nivel de plomo registrado corresponde al plomo asimilado por inhalación

De acuerdo con los resultados obtenidos en la gráfica anterior de las 16 personas que salen con Pb en sangre por arriba de los 10  $\mu\text{g/dL}$ , 6 son niños (personas 4, 5, 6, 7, 9, y 15) y 1 mujer embarazada (persona 12) encontrándose esta última en la categoría IV de acuerdo a la NOM-199-SSA1-2000 y que sobrepasan ese límite encontrándose en las categorías siguientes:

Categorías	µg/dL de Pb en sangre	Persona	Concentración encontrada µg/dL
II	10-14	5	12.56
		9	12.95
III	15-24	4	22.43
		6	27.88
		7	17.14
		15	17.29
IV	25-44	12	41.06

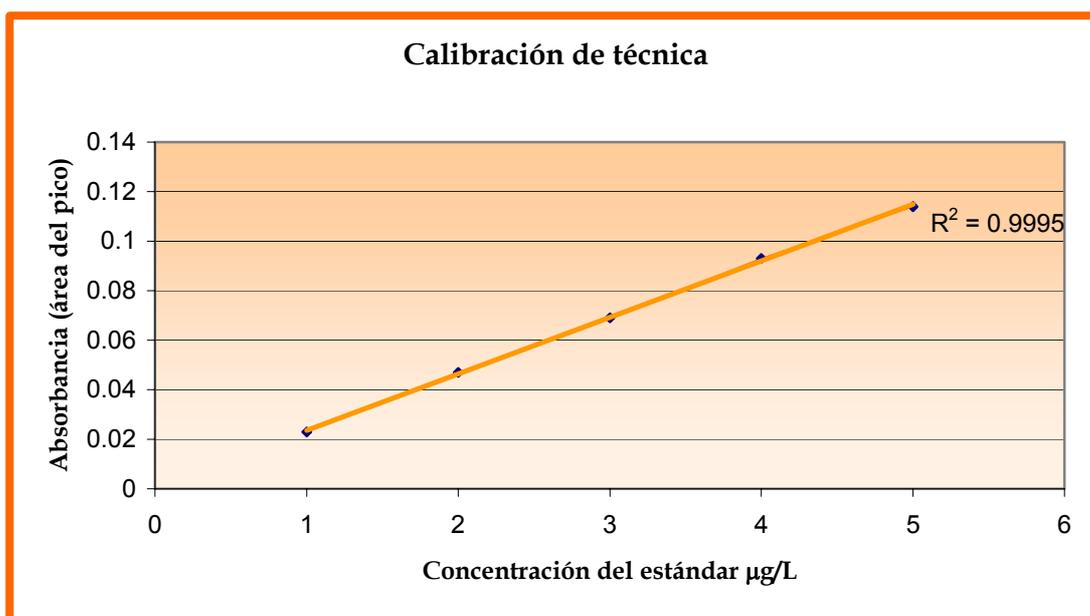
Por consiguiente las personas restantes se encuentran en otro límite de detección que es para el resto de la población no expuesta ocupacionalmente, mayor de 15 años todo esto según la NOM-199-SSA1-2000, Salud Ambiental. Se encuentran en las siguientes categorías:

Categorías	µg/dL de Pb en sangre	Persona	Concentración encontrada µg/dL
I	Menor a 25	1	20.32
		2	13.09
		3	10.37
		13	16.22
		14	17.19
II	25-44	No se encuentra a ninguna persona en este rango	
III	45-69	8	57.05
		10	66.34
		11	51.14
		16	56.01

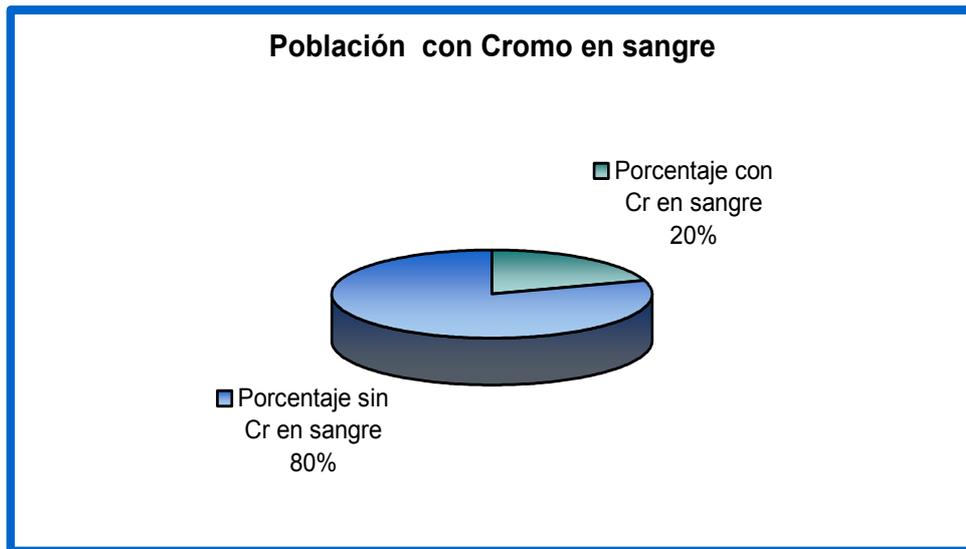
## 2.2 Determinación de Cromo

La determinación de cromo se hizo igualmente por Espectroscopia de Absorción Atómica en un solo día teniéndose que calibrar el aparato, obteniéndose los siguientes resultados:

Concentración del estándar	Señal de Absorbancia
1 µg/L	0.023
2 µg/L	0.047
3 µg/L	0.069
4 µg/L	0.093
5 µg/L	0.114



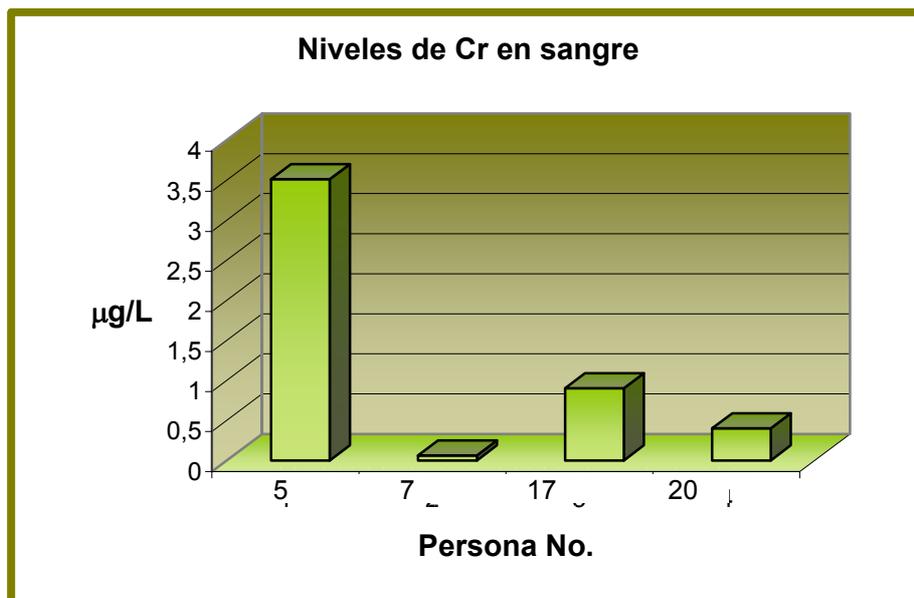
Al realizar este análisis (EAA) se encuentra que solo el 20% de las muestras presentan Cromo en sangre (**GRÁFICA 10**)



GRÁFICA 10. Porcentaje de población con Cr en sangre

Según la bibliografía consultada [25, 26] el mínimo que se permite para Cr en sangre es de 0.7  $\mu\text{g/L}$  y en las muestras analizadas se encuentra lo siguiente (GRÁFICA 11):

No. persona	Concentración obtenida de Cr ( $\mu\text{g/L}$ )	Edad	Sexo
5	3.51	2	Femenino
7	0.06	7	Femenino
17	0.9	29	Femenino
20	0.4	41	Femenino



GRÁFICA 11. Niveles de Cr en sangre en la población

De los resultados obtenidos podemos ver que las personas 5, y 17 son las que sobrepasan los límites referidos en bibliografía

### **4.3 Determinación de Cadmio**

La determinación de Cadmio en sangre se llevó a cabo con las 20 muestras, pero no se pudieron obtener resultados debido a que la sangre coagulaba cuando se le agregaba la solución modificadora de matriz que en este caso era  $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ , se trató hacer una digestión y tampoco se pudo homogeneizar la muestra de sangre, por esta razón no se pudo hacer la determinación de Cadmio en sangre.



## V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por medio de la Espectroscopia de Absorción Atómica para la determinación de metales pesados, nos indican que toda la población, presenta niveles cuantificables de este metal en sangre. Sin embargo solo 16 personas se pueden clasificar en las dos categorías que menciona la NOM-199-SSA1-2000; y de acuerdo a esta norma, por un lado están los niños menores de 15 años, las mujeres embarazadas o en periodo de lactancia y por otro, las personas no expuestas ocupacionalmente.

Las concentraciones obtenidas de los dos metales que se pudieron cuantificar son coherentes a los síntomas que se presentan por intoxicación por plomo en las personas muestreadas, presentando la mayoría dolores de cabeza, vómitos y náuseas. Cabe mencionar que este estudio se limitó solamente a 20 personas, debido a que no se contaba con un presupuesto que nos diera facilidad de hacerlo con un mayor número de individuos.

Los niveles cuantificados de metales pesados en un trabajo anterior realizado igualmente en la Ex Hacienda, demuestran que el suelo alcanzaba niveles de contaminación por plomo que superaban las 10000 ppm así como de cromo total que superaba las 500 ppm. Los niveles de contaminación en el suelo muy probablemente sean los causantes en gran medida de los niveles detectados de plomo y cromo en la sangre

Se recomienda un estudio más profundo, es decir, tomar muestras biológicas tanto de sangre como de orina y hacer las determinaciones de otros metales (incluyendo los estudiados en este trabajo), en un mayor número de personas, para poder realizar un análisis más completo de esta situación, así como también realizarlo en el agua que están consumiendo; las plantas y animales de la zona, así se corroboraría definitivamente la afectación por estos metales en la zona.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Periódico La Jornada, jueves 11 de agosto de 2005
- 2.- Periódico La Jornada, lunes 21 de noviembre de 2005
- 3.- Periódico La Jornada, martes 22 de noviembre de 2005
- 4.- Vernet J.P. Heavy Metals in the Environment. Elsevier US 1994. 161-175
- 5.- [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com) Acceso: 28 -10 -2005
- 6.- [www.anex.es](http://www.anex.es) Acceso: 25 – 10 -2005
- 7.- Albert, L. Toxicología Ambiental. Universidad Autónoma de Juárez
- 8.- Séller,H.G, Sigel H. Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds. Ed. Dekker USA 1998. 19-86, 155-174, 239-250, 359-382
- 9.- Manual emitido por la Organización Mundial de la Salud. Plomo 1988
- 10.- Environmental Health Criteria. V.20 12-16 1999
- 11.- Biological Effects of Heavy Metals CRC Press USA 2000 2-4
- 12.- Winder C. Occupational Toxicology. Second Edition. CRC Press US 2004
- 13.- Barile F. Clinical Toxicology Principles and Mechanisms. CRC Press US 2004
- 14.- Toxicology of Metals Clinical and Experimental Research Stanley S. Brown, Yasushi Kodama. Great Britain 1987 Ed. Ellis Horwood Limited
- 15.- Biological Monitoring of Exposure to Chemical Metals. Kenneth Dillon, H.Ho. Ed. Awiley-Interscience Publication USA 1991
- 16.- Friberg,Piscator, Nordberg. Cadmium in the Environment. Second Edition. Ed. Press
- 17.- Shaw Ian and Chadwick John. Principles of Environmental Toxicology. Ed. Taylorand Francis. 163-191
- 18.- Stoeppler, M. Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry. Hazardous Metals in the Environment Elsevier US 1992
- 19.- Chromium in the Natural and Human Environments. Jerome O. Nriagu, Evert. Ed. Wiley V.20 US 1988 45-49

- 20.- Wayne G Landis, Ming-Hoya. Introduction to the Environmental Toxicology Impacts of Chemical Upon Ecological System. Third Edition. Lewis Publishers. 219-222,224-226
- 21.- Curry A.S. Advances in Forensic and Clinical Toxicology CRC Press US 1972
- 22.- Eller Peter M. and Hertz Janett C. A Study for methods for the determination for lead and cadmium. Am. Ind: Hyg. Ass. J. 38, 116-124 (1977)
- 23.- Analytical methods for atomic absorption spectroscopy using HGA graphit furnace. Perkin Elmer. Norwalk (1983)
- 24.- Castillo Pierre and Herberg Robert F. The rapid determination of cadmium, lead, copper and chromium zinc in whole blood by atomic absorption spectroscopy with electrothermal atomization improvements in precision with a peckshape monitoring device. Anal. Chim. Acta. 94 269-274 (1987)
- Barceloux DG. Cooper J. “Toxicol Cli Toxicol” 1999; 37 (2): 217 – 230
- 25.- Gilberto Angel Interpretación Clínica del Laboratorio. Quinta Edición.. Ed. Médica Panamericana. Bogotá 1996. 630-650
- 26.- Guía Clínica de pruebas de Laboratorio. Treta. Ed. Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina 1985
- 27.- Normas Oficiales Mexicanas NOM-199-SSA1-2000
- 28.- Zelaya M, Romero O. Biorremediación de suelo contaminado por metales pesados en la Ex-Hacienda de la Concepción, 2005 UAM-Azcapotzalco
- 29.- [Fortoul TI](#), [Osorio LS](#), [Tovar AT](#), [Salazar D](#), [Castilla ME](#), [Olaiz-Fernández G](#)..Metals in lung tissue from autopsy cases in Mexico City residents: comparison of cases from the 1950s and the 1980s. [Environ Health Perspect.](#) 1996 Jun;104(6):630-2
- 30.- ATSDR, 2004 Toxicological profile: LEAD.

## VII. ANEXO



**FOTOGRAFÍA 1.** Vista de parte trasera de hacienda



**FOTOGRAFÍA 2.** Patio de hacienda en donde se observa crecimiento de plantas



**FOTOGRAFÍA 3.** Patio de Hacienda en donde se observa la tierra extraída para su posterior confinamiento



**FOTOGRAFÍA 4.** Realización de la encuesta a los habitantes



**FOTOGRAFÍA 5.** Toma de muestra a los habitantes de los alrededores de la Ex Hacienda



**FOTOGRAFÍA 6.** Toma de muestra a los habitantes de los alrededores de la Ex Hacienda