



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**



# **Prevalencia y Riesgos de Plombemia Tóxica en Mujeres Gestantes**

## **Tesis**

**Que para obtener el título de Licenciada en Enfermería**

**P r e s e n t a**

**Evelin Marlene Suárez González**

**Director de tesis: Mtro. Javier Alonso Trujillo**

**Los Reyes Iztacala, mayo de 2011.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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

	Página
<b>Introducción</b>	6
<b>Capítulo I Marco Teórico</b>	7
1. Características químicas y propiedades del plomo	9
2.- Antecedentes históricos de la plumbemia tóxica.	10
3. Norma Oficial Mexicana 199 (NOM-199-SSA1-2000).	12
4.- Fuentes ambientales de exposición al plomo en México y el mundo	18
5. Toxico cinética del plomo en el organismo	24
6. Toxicodinamia del plomo	27
7. Efectos del plomo en el organismo	29
8. Efectos del plomo durante el embarazo y la lactancia	33
9. Carcinogenicidad	35
10. Manifestaciones clínicas por intoxicación aguda	36
11. Manifestaciones clínicas intoxicación Crónica	36
12. Fundamentos de la Espectrofotometría de absorción atómica	40
<b>Capítulo II Antecedentes</b>	42
<b>Capítulo III Planteamiento del problema y objetivos</b>	65
Preguntas de investigación	67
Objetivo general y específicos	69
Hipótesis de investigación	71
<b>Capítulo IV Material y Métodos</b>	72
Población objetivo	74
Ubicación espacio temporal	74
Muestra	75
Criterios de inclusión y exclusión	76
Procedimientos	77
Nivel de plomo en sangre	77
Biometría hemática	79
Consideraciones éticas	80
Definición operacional de variables	81
Plan de análisis estadístico	85

<b>Capítulo V Resultados</b>	<b>86</b>
Análisis por percentiles de la edad de las gestantes	86
Escolaridad de las mujeres gestantes	88
Densidad poblacional por municipios	89
Nivel de plomo en mujeres gestantes	90
Prevalencia de plumbemia tóxica en mujeres gestantes	93
Comparación de niveles de plomo en sangre (NOM-199-SSA1-2000)	94
Niveles de plomo en residentes de municipios conurbados al Distrito Federal	96
Relación plumbemia vs hemoglobina	98
Relación plumbemia vs hematocrito	99
Relación de plomo vs plaquetas	100
Relación de plomo vs glóbulos blancos	101
Probabilidad de riesgo por factor de exposición	103
Nivel de plomo respecto a la frecuencia de consumo en CVP	105
Niveles de plomo en sangre respecto a hábitos alimenticios de las participantes	107
Relación entre el peso del recién nacido y el nivel de plomo en sangre materna	109
<b>Capítulo VI Discusión</b>	<b>111</b>
<b>Capítulo VII Conclusiones</b>	<b>119</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>121</b>

Dedicatoria

*A D.P.P.*

*Mis padres*

*Hermanos*

*Amigos*

*Sinodales y en especial*

*A M.P.*

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo recibido a los miembros del programa PAPIME convocatoria 2011 titulado “**Estrategias para mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje en la construcción de instrumentos de medición válidos y confiables**” Clave PE 202511, por su asesoría en el diseño y construcción del instrumento utilizado en esta tesis, así como también en el apoyo para realizar las pruebas de validez y confiabilidad de dicho instrumento. Finalmente deseo agradecer las sugerencias y recomendaciones que me ofrecieron en materia de diseño de investigación y técnicas estadísticas aplicadas a los resultados obtenidos en esta tesis.

Se agradece a las mujeres gestantes que amablemente aceptaran participar en mi tesis y que aún estando hospitalizadas y que recién hubiera nacido su hijo, respondieron de buena manera a la entrevista que se les realizó.

Se agradece al **QFB Rogelio Serrato Sánchez** y a los miembros del laboratorio en el cual labora en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por haberme apoyado en la determinación de los niveles de plomo en sangre de mujeres gestantes a través del uso del Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

A las autoridades del Hospital general de Tlalnepantla “Valle Ceylán” del Instituto de Salud de Estado de México.

# Introducción

**E**studiar los niveles de plomo en la sangre de los humanos, ha sido desde hace algunas décadas tema de investigación en todo el mundo, sin embargo, la constante exposición a este elemento no es proporcional al número de publicaciones que deberían encender luces de alarma en los países tanto subdesarrollados como industrializados. La contaminación ambiental en ocasiones es tratada como un tema político y no como un problema de salud pública. En México, la población está expuesta a la ingestión e inhalación de plomo a partir de fuentes como la contaminación generada por fábricas, so de utensilios de cocina pintados con pintura a base de plomo o uso de utensilios de barro vidriado con plomo para darles resistencia térmica. También se consideran fuentes de exposición al plomo la pintura de las casas, principalmente aquellas que tienen cierta antigüedad y el agua que corre por las tuberías hechas con plomo que predominaban hace mas de 20 años.

Muchos artículos de la vida diaria como lápices y juguetes son potencialmente peligrosos por la pintura a base de plomo con que son decorados.

Como se sabe, el plomo es un metal que se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente, ya sea en yacimientos naturales o en la industria. Ha acompañado al ser humano desde que se familiarizó en el uso de los metales y se convirtió en el favorito de las civilizaciones antiguas por sus características de ductilidad, de maleabilidad y de resistencia. Desde entonces existen antecedentes de los efectos tóxicos que este metal produce.

La exposición al plomo constituye un grave problema de salud pública, ya que afecta a todas las poblaciones, provocando en ellas efectos agresivos.

Aunque el envenenamiento agudo por plomo es muy raro, la exposición crónica a niveles bajos de plomo muchas veces se deja pasar por alto.

Las poblaciones más vulnerables las constituyen los niños, las mujeres embarazadas y en edad reproductiva, y los trabajadores de industrias en las cuales se maneja plomo.

El Plomo tiene efectos tóxicos en muchos órganos, sistemas y procesos fisiológicos, incluso en exposición a bajas dosis.

La asociación más intensa con plomo plasmático tiene un mayor significado biológico principalmente en el feto en desarrollo ya que el plomo pasa de la madre a su hijo, a través de la placenta, debido a que el organismo no distingue entre este metal pesado y el calcio. El feto necesita éste último porque sus huesos están formándose y creciendo.

En esta investigación se tiene especial interés en estudiar cómo es que la exposición al plomo en el contexto doméstico, ha afectado la salud de mujeres gestantes.

El contexto doméstico en esta investigación, está definido por el sitio de residencia de las mujeres gestantes, su adicción al tabaquismo, la infraestructura de su casa (antigüedad, pintura y tubería hidráulica), así como los hábitos relacionados con el uso de utensilios para cocinar elaborados a partir de loza vidriada con plomo o el consumo de alimentos enlatados.

La condición de salud de las mujeres gestantes está descrito en esta tesis por los indicadores de la biometría áhemática y del peso corporal de su hijo recién nacido. Para contar con valores de referencia del nivel de plomo en sangre, se ha recurrido a la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000.

Aunque en las últimas décadas la prevalencia de plumbemia tóxica ha disminuido, se siguen presentando casos en las diferentes comunidades, los cuales dependen del grado de exposición que tengan las personas derivado de su entorno doméstico y laboral.

Por lo anteriormente expresado, se justifica la realización de esta tesis que además se orienta a conocer los efectos que tiene la plumbemia tóxica en la salud de mujeres mexicanas gestantes.

# Capítulo I

## Marco Teórico

La contaminación ambiental y los avances tecnológicos que predominan en la actualidad en México y en el resto del mundo, son situaciones contrastantes que nos llevan por un lado, a padecer enfermedades cuyos factores causales se encuentran en el entorno de la sociedad, y por otro lado a contar con más y mejores condiciones de vida que permiten disponer de herramientas que facilitan el diagnóstico de padecimientos como la plumbemia tóxica, una de estas herramientas es el espectrofotómetro de absorción atómica.

La investigación multidisciplinaria permite abordar desde diferentes enfoques un mismo problema. En el caso de esta tesis, han colaborado profesionistas de áreas como la Biología, Química, Medicina, Epidemiología y por su puesto Enfermería.

En esta sección de la tesis, se muestra un panorama general del grado de conocimientos que el hombre ha logrado acumular respecto a la plumbemia tóxica en mujeres gestantes y que han permitido que, una vez obtenida la información, se construya el siguiente marco teórico.

## 1. Características químicas y propiedades del plomo

El plomo (Pb) es un elemento químico, de número atómico 82 y peso atómico 207.19. Es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 a 16°C (61°F)). Es flexible, inelástico, se funde a 327.4°C (621.3°F) y hierve a 1725°C (3164°F). Las valencias químicas normales son 2 y 4.

Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. El plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos.

El plomo es un metal pesado, de baja temperatura de fusión, de color gris-azulado que existe naturalmente en la corteza terrestre. Sin embargo, raramente se encuentra en la naturaleza en la forma de metal. Generalmente se encuentra combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo. (1,2)

El plomo metálico es resistente a la corrosión (resiste la acción del aire o del agua). Cuando el metal se expone al aire, una capa fina de compuestos de plomo cubre al metal y lo protege de ataque adicional. El plomo es fácil de moldear y tallar. El plomo puede combinarse con otros metales para formar aleaciones. (2)

## **2.- Antecedentes históricos de la plombemia tóxica.**

Desde tiempos muy antiguos se conocen los efectos nocivos del plomo en el organismo humano.

El plomo es un elemento que no cumple ninguna función vital en el organismo humano y resulta tóxico incluso en exposición a dosis bajas dando lugar a efectos agudos y crónicos. (3)

En 1700 años antes de Cristo, en el papiro de Ewin Smith se hace referencia a la intoxicación por plomo. Hipócrates lo menciona en su obra el “cólico de plomo” y Ramazzini, padre de la medicina laboral, hace una completa descripción del cuadro clínico de la intoxicación por el metal, en su obra “La enfermedad de los obreros”. Se ha afirmado que la fertilidad y la vitalidad de los romanos decayeron por la contaminación con acetato de plomo utilizado como endulzante del vino.

Estudios realizados al respecto afirman que el vino contaminado con plomo fue posiblemente la causa de saturnismo entre los griegos.

En Inglaterra, en 1854, Garrod observó la frecuencia de la enfermedad llamada gota en trabajadores de la industria del plomo (4)

En el siglo pasado se comprobó que este metal es el responsable de las lesiones neurológicas en personas expuestas a él y que las intoxicaciones pueden ocasionarse por contacto, bien por vía oral o por vía respiratoria. En 1840, Burton describió la línea grisácea que se presenta en la mucosa gingival en pacientes intoxicados y desde entonces se ha conocido como ribete de Burton. (3)

Sin embargo, desde hace solo una década y utilizando una metodología más avanzada, se han detectado los daños que ocasiona el plomo incluso en niveles bajos.

El plomo tiene efectos tóxicos en muchos órganos, sistemas y procesos fisiológicos, incluyendo en desarrollo de la línea roja hemática, los riñones, sistema cardiovascular, el aparato reproductor y, probablemente el aspecto de mayor gravedad, el desarrollo del sistema nervioso central.

La naturaleza de las manifestaciones de toxicidad depende no solo de la magnitud de exposición sino también de las características de la persona expuesta; la neurotoxicidad del plomo es más crítica para el feto en desarrollo, lactante mayor, lactante durante el periodo neonatal y el niño en crecimiento que para los adultos debido a que en la infancia el cuerpo absorbe más fácilmente ese metal y lo elimina con más dificultad. (5-7)

### 3. Norma Oficial Mexicana 199 (NOM-199-SSA1-2000).

En México, la Norma Oficial Mexicana (NOM-199-SSA1-2000), menciona que actualmente las fuentes más usuales de exposición al plomo son las emisiones de las industrias minerometalúrgicas y metalmecánicas, los establecimientos recicladores de baterías.

Los pigmentos para pinturas, la producción y el uso alfarería vidriada para la preparación y almacenamiento de alimentos es considerada la principal fuente de exposición a plomo en México.

Algunos remedios tradicionales que tienen un alto contenido de plomo y producen intoxicación.

Con la finalidad de evaluar el grado de toxicidad del plomo en los seres humanos y como punto de referencia para generar acciones de prevención, la **NOM-199-SSA1-2000** establece que un valor criterio es la concentración de plomo en sangre que indica la cantidad a la cual, basándose en la presunción de efectos tempranos / subclínicos y posteriormente adversos, se generan distintas fases de prevención que han de realizarse.

En esta tesis se considera como valor criterio el nivel de plomo en sangre **<10 µg/dl** también llamado "**Categoría I**". (8)

En Estados Unidos la Journal of the American Academy of Pediatrics ha sugerido durante varios años los puntos de cohorte o guías biológicas del nivel de plomo en sangre para niños.

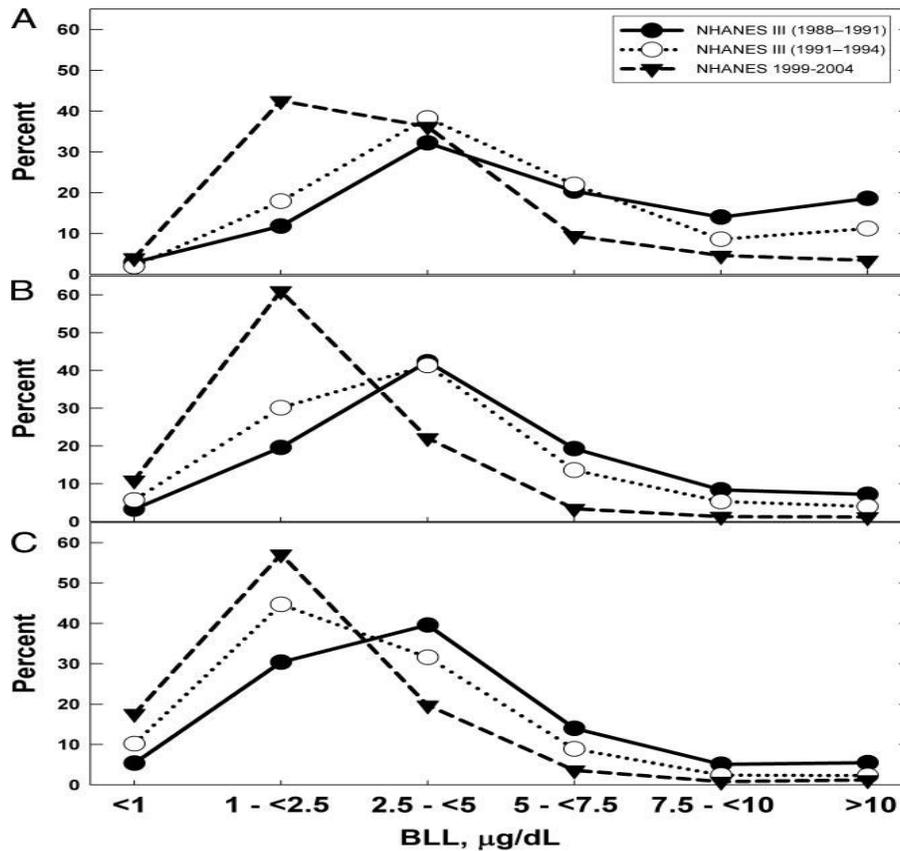


Figura 1. Tendencias entre los niveles de plomo en la sangre y las pruebas de plomo en la sangre de niños de 1 a 5 años de EE.UU durante el periodo 1988-2004.

Como se puede observar en la figura 1, los niveles de plomo han ido disminuyendo progresivamente hasta alcanzar los niveles 10 µg/dl tal y como también lo señala la **NOM-199-SSA1-2000** en nuestro país. (8, 44) Para el caso específico de las mujeres embarazadas, la **NOM-199-SSA1-2000** dicta los niveles de plomo en sangre para mujeres embarazadas y en periodo de lactancia, así como algunas acciones básicas de protección que se deben de seguir una vez que se ha determinado la plumbemia, tal y como se puede observar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Niveles de plomo y acciones de protección en mujeres embarazadas o en periodo de lactancia. **(NOM-199-SSA1-2000)**

Nivel de plomo en sangre	Acciones básicas de protección. Mujeres embarazadas y en periodo de lactancia
< 10 µ g/dl Categoría I	No se establece acción específica
10-14 µ g/dl Categoría II	<p>Repetir la prueba de plomo en sangre venosa hasta que termine el periodo de lactancia materna al menos cada 3 meses, después de elaborar historia clínica, con énfasis en los antecedentes ambientales y laborales.</p> <p>Notificar a la autoridad sanitaria.</p> <p>Informar a la familia acerca de la exposición ambiental a plomo, promover y fomentar buenos hábitos higiénicos, alimenticios, así como medidas personales para reducir la exposición al plomo.</p> <p>Hacer el seguimiento del caso.</p> <p>Dar seguimiento al binomio madre-hijo.</p>
15-24 µ g/dl Categoría III	<p>Repetir la prueba de plomo en sangre venosa hasta que termine el periodo de lactancia materna, al menos cada 3 meses después del primer resultado hasta que el NPS sea &lt; 10 m g/dl y elaborar historia clínica con énfasis en los antecedentes ambientales y laborales.</p> <p>Realizar una evaluación médica integral para determinar el tipo de atención.</p> <p>Prescribir suplementos alimenticios: hierro, calcio u otros, con base a la evaluación médica integral.</p> <p>Dar seguimiento al binomio madre-hijo.</p> <p>Determinar el NPS de los convivientes menores de 15 años, mujeres embarazadas y en periodo de lactancia.</p>

	<p>La autoridad sanitaria realizará estudios para identificar rutas y vías de exposición.</p> <p>Notificar a la autoridad sanitaria.</p> <p>En el caso de identificar la o las fuentes de exposición, la autoridad sanitaria gestionará las medidas para su control o eliminación.</p> <p>En el caso de utensilios domésticos identificados como fuente de exposición, la autoridad sanitaria señalará cuáles son los que se deben eliminar.</p> <p>Hacer el seguimiento del caso.</p> <p>Informar a la familia acerca de la exposición ambiental a plomo, promover y fomentar buenos hábitos higiénicos y alimenticios.</p>
<p>25-44 <math>\mu</math> g/dl Categoría IV</p>	<p>Repetir pruebas de plomo en sangre venosa cada mes, hasta que el NPS sea menor de 25 <math>\mu</math> g/dl o termine el periodo de lactancia materna.</p> <p>Realizar una evaluación médica integral por médico especialista, considerando indicadores biológicos de daño, para determinar tipo de atención (manejo de caso).</p> <p>Prescribir suplementos alimenticios: calcio, hierro u otros, con base a la evaluación médica integral, a juicio del médico tratante.</p> <p>Notificar inmediatamente el caso a la autoridad sanitaria.</p> <p>Determinar el NPS en cordón umbilical del producto de la gestación o al niño lo más pronto posible.</p> <p>Determinar el NPS de los convivientes.</p> <p>La autoridad sanitaria debe identificar la o las fuentes de exposición, y gestionar las medidas para su control o eliminación.</p> <p>La autoridad sanitaria debe realizar estudios para identificar rutas y vías de exposición.</p> <p>En el caso de utensilios domésticos identificados como fuente de exposición, la autoridad sanitaria señalará</p>

	<p>cuáles son los que se deben eliminar.</p> <p>Hacer el seguimiento del caso.</p> <p>Informar a la familia acerca de la exposición ambiental a plomo, promover y fomentar buenos hábitos higiénicos y alimenticios.</p> <p>Dar seguimiento al binomio madre-hijo.</p>
<p>45-69 m g/dl</p> <p>Categoría V</p>	<p>Además de lo señalado en la categoría IV.</p> <p>Notificar inmediatamente el caso, por el medio de comunicación más rápido, a la autoridad sanitaria.</p> <p>Referir el caso a médico especialista dentro de las 48 horas siguientes.</p> <p>Repetir prueba de plomo en sangre dentro de las 48 horas siguientes, con el fin de confirmar el NPS.</p> <p>Repetir las pruebas de plomo en sangre venosa al menos cada mes hasta que el NPS sea menor a 45 mg/dl.</p> <p>La autoridad sanitaria debe identificar en el menor tiempo posible la o las fuentes de exposición, así como controlarla o eliminarla en su caso.</p> <p>Durante el periodo de gestación no se debe administrar tratamiento quelante.</p> <p>Al término de la gestación, valorar por médico especialista la aplicación del tratamiento farmacológico y en caso necesario prescribir y vigilar tratamiento con agentes quelantes para disminuir los NPS por debajo de 45 m g/dl.</p> <p>Referir a servicio de trabajo social, para seguimiento, si es necesario</p>
<p>≥70 μ g/dl</p> <p>Categoría VI</p>	<p>Además de lo señalado en la categoría V.</p> <p>Una mujer en este nivel se debe considerar como <b>CASO DE EMERGENCIA PARA ATENCION MÉDICA INMEDIATA.</b></p> <p>Hospitalizar, evaluar por médico especialista y empezar <b>INMEDIATAMENTE</b> el tratamiento correspondiente.</p>

	<p><b>El tratamiento debe aplicarse en el hospital.</b></p> <p><b>Repetir, al menos semanalmente, la prueba de plomo en sangre venosa, hasta que la concentración alcance la categoría V</b></p> <p><b>Para mujeres embarazadas el médico especialista en coordinación con el grupo gineco-obstétrico deben evaluar la conveniencia de iniciar el tratamiento específico, considerando la relación riesgo-beneficio (evaluación de feto toxicidad) seleccionando el medicamento más apropiado.</b></p>
--	--

De acuerdo al cuadro 1, se considera como valor criterio para la concentración de plomo en sangre en niños, mujeres embarazadas y en periodo de lactancia, 10 µg/dl. (8)

Vale la pena señalar que hace 20 años el nivel biológico máximo propuesto por los Estados Unidos de América fue de 15 µg/dl. (37)

Tanto las mediciones realizadas en México como en otros países, incluyen como método de análisis el de Espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

#### **4.- Fuentes ambientales de exposición al plomo en México y el mundo**

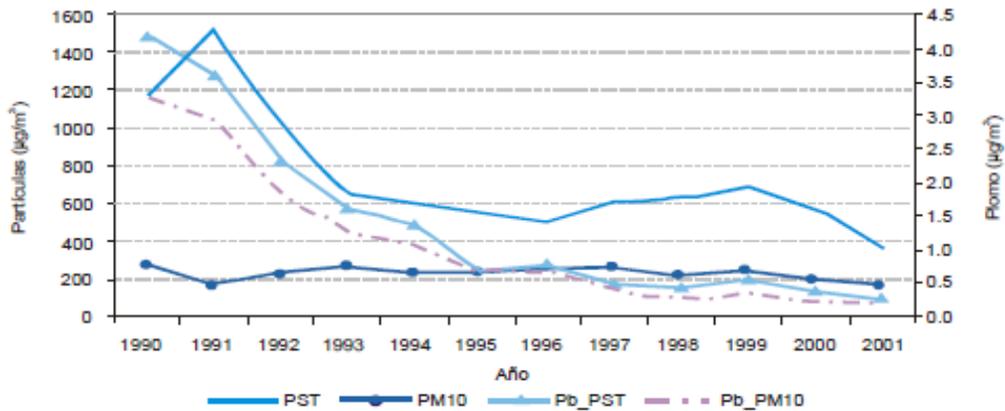
En México y en el ámbito mundial, se consideran varias las fuentes principales de exposición al plomo en la población en general. Estas fuentes forman parte del contexto cotidiano y doméstico de las personas.

- **Gasolina con plomo**
- **Uso de loza vidriada para cocinar, almacenar y servir alimentos**
- **Pinturas con plomo (principalmente amarilla)**
- **Juguetes**
- **Alimentos almacenados en latas con soldadura de plomo**
- **Agua para beber**
- **Cosméticos y medicamentos folklóricos**
- **Emisiones industriales**
- **Lápices pintados de color amarillo**
- **El humo de los cigarros también contiene pequeñas cantidades de plomo.**

#### **Gasolina con plomo**

Cabe señalar que en México ya no se produce gasolina con plomo. En 1990 se inicia la venta de gasolina Magna Sin, el cual es un combustible para los automotores que no contiene plomo.

En cifras reportadas por el Instituto nacional de Ecología en 1997, se menciona que la gasolina PEMEX Magna que se distribuye en la zona metropolitana de la Ciudad de México contiene solo 0.01 g/galón y que de acuerdo a los monitoreos realizados desde 1986 hasta 1995, los niveles de plomo en la atmósfera (máximo y mínimo) disminuyeron al reducirse el consumo de gasolinas que contenían tetraetilo de plomo como lo indica la figura 2. (37)



FUENTE: Gobierno del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México.

Figura 2. Comportamiento histórico de los niveles de plomo en la ZMVM.

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 1997. (37)

### Loza vidriada.

El óxido de plomo se emplea para darle el vidriado a la loza. En México, la actividad alfarera es una tradición que data de hace cientos de años, sumamente

variada y de importancia tanto cultural como social, pues de, ella viven numerosas familias en el país.

Desafortunadamente, las técnicas de producción de loza vidriada han sido por lo general muy primitivas, ya que han implicado que en las casas se apliquen los óxidos de plomo, contaminando al ambiente y produciendo la exposición de toda la familia de los artesanos. Además, la baja temperatura que se emplea en la cocción del barro hace que el plomo contenido en el vidriado se desprenda al contacto de los alimentos ácidos que se coloquen en la loza, dando lugar a la exposición de los consumidores y a severas intoxicaciones.

En diversas partes del mundo se ha concebido a la industria casera (talleres) como otra fuente de exposición al plomo en tanto que contamina la vivienda y a sus habitantes (8)

Desde 1991 se ha limitado el uso del plomo en el vidriado de loza de barro mediante la emisión de una norma y mediante inversiones importantes para investigar alternativas de vidriado menos riesgosas, técnica y económicamente accesibles, pero aún no han sido introducidas en todo el país. (37)

### **Pinturas.**

El empleo de distintos compuestos de plomo en pinturas está sumamente difundido en el mundo y en México, algunos de esos compuestos como el cromato de plomo, que da el color amarillo a la pintura de lápices y líneas trazadas en el pavimento, es poco soluble y biodisponible. Sin embargo, el carbonato de plomo empleado en las pinturas de interiores de domicilios es sumamente soluble y biodisponible y todavía es la causa de numerosas intoxicaciones de niños en el mundo, más no en México, pues desde hace años se suspendió este uso.

En 1991 también se eliminó en México, a través de un convenio voluntario y de la introducción ulterior de una norma, el uso de óxido y carbonato de plomo en

pinturas de interiores o empleadas en recubrimiento de juguetes y otros objetos con los que puedan entrar en contacto los niños.

### **Latas soldadas con plomo.**

En diversos países del mundo se ha atribuido al uso de soldadura de plomo en las latas para contener alimentos la exposición y la intoxicación por esta ruta. En México, desde 1991, se convino igualmente con la industria la eliminación de este uso del plomo, lo cual se logró con éxito. (37)

Algunas fuentes de exposición al plomo se relacionan con actividades o acciones que las personas realizan en su quehacer cotidiano, pero que sin darse cuenta, incorporan a su organismo el plomo.

Estas fuentes incluyen:

- **El polvo emitido por la pintura que contienen plomo y que se encuentran en viviendas antiguas.**
- **Plomo en el polvo que proviene de fuentes ambientales.**
- **Agua contaminada.**
- **Aire por combustión de emisiones industriales que contienen dicho elemento.**
- **Objetos contaminados, como lápices pintados de color amarillo, ya que existe la tendencia a llevarse cosas a la boca por parte de niños de corta edad.**

- **Comer, cocinar, freír y almacenar alimentos en productos de alfarería barnizada con plomo.**
- **Polvo de plomo llevado al hogar por trabajadores industriales en la ropa y el calzado. (6)**

Para el caso de México, la **NOM-199-SSA1-2000** solo considera factores de exposición a las emisiones de las industrias minero metalúrgicas y metalmeccánicas, los establecimientos recicladores de baterías, pigmentos para pinturas, producción y uso alfarería vidriada para la preparación y almacenamiento de alimentos, algunos remedios tradicionales que tienen un alto contenido de plomo y producen intoxicación. (8)

## 5. Tóxico cinética del plomo en el organismo.

Si la vía de exposición es la respiratoria, una vez que llegan a los pulmones logran absorberse fácilmente e integrarse al sistema sanguíneo y distribuirse a otras partes del cuerpo.

La otra vía de importancia es la oral al ingerir alimentos o agua con trazas de plomo. El paso del plomo a la sangre a través del estómago e intestino dependerá de ciertas condiciones: factores fisiológicos (edad – niños absorben más que adultos-, pH, motilidad gastrointestinal); si durante la ingestión en el estómago había restos alimenticios, esto restringiría notablemente la absorción, mientras si está vacío se absorberá gran parte del plomo ingerido; también del compuesto químico de plomo involucrado (plomo orgánico o inorgánico).

La absorción gastrointestinal de plomo al parecer ocurre, al menos en parte, por el mismo mecanismo en el cual entra calcio y posiblemente el hierro. Esta competencia por el sitio de entrada da por resultado una mayor absorción si hay deficiencia en la dieta de los minerales citados.

La intoxicación por vía dérmica es poco probable por su escasa absorción, a no ser que en el lugar de contacto haya herida u otro tipo de lesión.

La distribución inicial es en tejidos blandos como hígado, riñones, corazón, pulmones; pero a las pocas semanas se redistribuye y se deposita especialmente en los huesos y dientes. En estos lugares se mantendrá por espacio de décadas, sin embargo bajo circunstancias como embarazo, fractura de hueso, lactancia y altas temperaturas puede haber un desplazamiento del plomo y reintegrarse a la sangre.

Especial atención merecen las mujeres embarazadas y las que están en período de lactación que tengan altos niveles plúmbicos, ya que el plomo es capaz de atravesar el cordón umbilical y también aparecer en la leche materna, provocando graves daños en los bebés.(10)

La biotransformación del plomo en el organismo es nula; el plomo absorbido y distribuido pero que no se depositó y se mantuvo en circulación, es eliminado preferentemente por la orina, aunque pequeñas cantidades se han encontrado en la bilis, pelo y uñas.

Los adultos absorben 5 a 15 % del plomo ingerido, y por lo general retienen menos de 5% de lo que se absorbe.

Se sabe que los niños tienen mayor absorción de plomo que los adultos; en un estudio se encontró que la absorción neta promedio de 41.5% y una retención neta de 31.8% en lactantes que recibían dietas regulares.(1) Las concentraciones de plomo en el aire varían debido a emisiones de fuente puntual, pero por lo general son de menos de 1.0 ug/ mm<sup>3</sup>. Alrededor de 90% de las partículas de plomo en el aire ambiente que se depositan en los pulmones son lo bastante pequeñas como para que se retengan. La absorción de plomo retenido a través de los alveolos es relativamente eficiente y completa. (9)

Más de 90% del plomo en la sangre se encuentra en los eritrocitos. Parece haber al menos en dos compartimentos principales para el plomo en los eritrocitos, uno relacionado con la membrana y el otro con la hemoglobina. Fracciones pequeñas pueden relacionarse con otros componentes de los eritrocitos. Los ligados plasmáticos no están bien definidos pero se ha sugerido que el plasma y el suero logran contener fracciones difusibles de plomo en equilibrio con sitios de unión en tejidos blandos o en órganos terminales para plomo. Esta fracción es difícil de medir con exactitud, pero hay un equilibrio entre el plomo eritrocítico y plasmático.

La carga corporal total de plomo puede dividirse en al menos dos fondos comunes cinéticos, que tienen tasas de recambio diferentes. El fondo común más grande y más lento desde el punto de vista cinético es el esqueleto, con una vida media de más de 20 años y un fondo común en tejidos blandos mucho más lábil.

El plomo en los huesos puede contribuir con hasta 50% del plomo en la sangre, de modo que es una fuente importante de exposición endógena al plomo (6)

El depósito de plomo en hueso está influido por prácticamente todos los procesos que afectan el depósito o movilización del calcio en el mismo. Las acciones tóxicas del plomo se distribuyen a su afinidad por los sitios de acción molecular del calcio; el metal actúa como sustituto del calcio en varios eventos regulatorios intracelulares, ya que es capaz de activar las fosfodiesterasas dependientes de la calmodulina y las proteínas cinasas independientes de la misma teniendo efectos, además, sobre los canales de calcio.

El depósito y remoción del plomo en hueso sigue exactamente la activa fisiológica del calcio, que está sometida a los efectos de factores generales, tales como las influencias hormonales y metabólicas.

La fisiología del plomo incluye a los factores de crecimiento, las proteínas derivadas del hueso y otras señales fisiológicas como el 1,25-dihidroxicolecalciferol, los estrógenos, la hormona paratiroidea, la calcitonina, la hormona del crecimiento, la prolactina, la tirotropina y nutrientes como el calcio, el zinc y el fósforo.

El plomo cruza la placenta, de modo que sus concentraciones en la sangre del cordón por lo general se correlacionan con dichas concentraciones en sangre materna pero son más bajas. El plomo en la sangre materna disminuye un poco durante el embarazo quizá debido a hemodilución; su acumulación en los tejidos fetales, incluso el cerebro, es proporcional a las cifras sanguíneas maternas de tal elemento. (6)

Durante el embarazo se implica una mayor demanda de calcio, tanto en la dieta como de los almacenamientos fisiológicos en tejido óseo. Estas demandas surgen de los requerimientos fetales para osificación y crecimiento, los cuales tienen su acmé durante el tercer trimestre del embarazo. El hueso materno funge como fuente de calcio en esa etapa. Se observan cambios en la tasa de formación y resorción, especialmente en mujeres embarazadas con dietas deficientes en calcio. Esta movilización ósea estimula en gran medida la liberación de plomo, el cual atraviesa libremente la barrera placentaria, de tal forma que el plomo de

hueso se convierte no solo en fuente endógena para la madre sino también para el feto en desarrollo.(5)

## **6. Toxicodinamia del plomo**

Los efectos tóxicos por plomo forman un continuo desde efectos clínicos o manifiestos hasta efectos sutiles o bioquímicos. (6)

El plomo inorgánico se acumula en los huesos, los tejidos y la sangre. El plomo orgánico se descompone en el hígado, pero los productos resultantes producen lesiones en el cerebro y en el sistema nervioso.

Los niños están más expuestos a las intoxicaciones por plomo que los adultos, pues en la infancia el cuerpo absorbe más fácilmente ese metal y lo elimina con más dificultad. (7)

### **6.1. Bioacumulación**

Una vez absorbido el plomo, circula en el organismo unido a los glóbulos rojos. Forma con los fosfatos desde plasma fosfatos coloidales de plomo, los cuales son muy solubles y constituyen el plomo circulante y toxico. (4)

#### **6.1.1. Inhibición no competitiva por plomo**

El plomo forma enlaces covalentes con los grupos sulfhidrilo. Muchas proteínas corporales, entre ellas varias enzimas, contienen residuos de cisteína con grupos sulfhídrico libres. Las proteínas se desnaturalizan casi siempre al combinarse el plomo con esos grupos. El enlace covalente entre el plomo y los sulfhidrilos es muy fuerte y las alteraciones que provoca en las proteínas son prácticamente irreversibles. El análisis de la cinética enzimática revela una inhibición no competitiva. Este es el tipo de inhibición que no se puede vencer con un simple

aumento de la concentración del sustrato. Las moléculas enzimáticas que forman complejo con el plomo ya no vuelven a tener actividad enzimática. Las moléculas de enzimas restantes, sin plomo funcionan con normalidad. Las enzimas al ser catalizadores, se encuentran generalmente en cantidades muy pequeñas por ello e incluso un ligero exceso de plomo puede acarrear graves alteraciones metabólicas. Para que los efectos tóxicos se pongan de manifiesto basta con que se inactiven una o más enzimas clave.(4,6)

### **6.1.2. El plomo y la biosíntesis del hemo**

Una vía metabólica extremadamente sensible al exceso de plomo es la biosíntesis del hemo. El plomo afecta, en concreto, a la enzima ferroquelatasa. La ferroquelatasa cataliza la inserción del hierro ferroso en la protoporfirina IX, formándose el hemo. En la intoxicación por plomo se excretan elevadas cantidades de aminolevulinato, ya que, al inhibirse la actividad ferroquelatasa, la producción de hemo no es lo bastante rápida como para absorber todo el aminolevulinato que se sintetiza del mismo modo la protoporfirina IX que se forma no puede convertirse en hemo adecuadamente, debido a la inhibición de la ferroquelatasa. La porfirina se acumula en los tejidos y parte del excedente se excreta en forma de coproporfirina III.

Los efectos hematológicos: En la anemia inducida por plomo, los eritrocitos son microcíticos e hipocrómicos, como en la deficiencia de hierro, y regularmente se observan numerosos aumentados de reticulocitosis con punteado basófilo, que sobreviene por inhibición de la enzima pirimidina-5-nucleosidasa. La inhibición de la actividad de esta última enzima y la acumulación de nucleótidos con la exposición al plomo afectan la estabilidad de la membrana de los eritrocitos y la supervivencia de estos últimos al alterar el metabolismo de energía celular.

La anemia que ocurre en la intoxicación por plomo sobreviene por dos efectos básicos: lapso de vida acortado de los eritrocitos, y deterioro de la síntesis del

grupo hemo. Se cree que el acortamiento del lapso de vida de los eritrocitos se debe al incremento de la fragilidad mecánica de la membrana celular. (6)

## **7. Efectos del plomo en el organismo**

A continuación se describen los efectos que la intoxicación por plomo puede tener en algunos sistemas del organismo humano.

### **7.1. Sistema Esquelético.**

El plomo tiene muchas propiedades en común con el calcio. El organismo no distingue claramente entre ambos. Por ello, el plomo se deposita en la sustancia mineral del hueso, especialmente en la época del crecimiento. Como sucede en el calcio, la mayor parte del plomo se deposita en los lugares de mayor actividad metabólica del hueso. El plomo es más electrodenso en el esqueleto, quizá sea un mecanismo protector, ya que evita que el plomo depositado reaccione con grupos sulfhidrilos de proteínas. Sin embargo, el mineral óseo se halla en equilibrio dinámico con otros minerales corporales, de manera que, cuando sea necesario retirar calcio de la sustancia ósea, saldrá con él plomo depositado. Por consiguiente, el tratamiento debe diseñarse de modo que ese plomo se solubilice en una forma no iónica que pueda excretarse sin dañar ninguna proteína. La dieta debe contener suficiente cantidad de calcio y vitaminas para minimizar la necesidad de reabsorber calcio del hueso. (11)

Las evidencias experimentales que permiten proponer algunos mecanismos fisiopatológicos probables para el establecimiento de una lesión ósea son:

- Alteración del cristal de hidroxapatita y, por consiguiente, alteración de la adhesión de la célula ósea a la matriz mineralizada.
- Competencia entre el plomo y el calcio en sus sitios de unión, con alteración de la homeostasis del calcio.

- Alteración de la capacidad de las células óseas para responder a las hormonas.
- Daño a la capacidad de las células óseas para sintetizar y/o excretar componentes de la matriz (colágeno, sialoproteínas).
- Inhibición de la producción de osteocalcina por parte de los osteoblastos.
- Alteración en el acople funcional de osteoblastos y osteoclastos. (5)

La intoxicación por plomo, provoca defectos en el crecimiento de los huesos en niños. En las radiografías, se observan “manchas de plomo” en las placas de crecimiento óseo que se localizan en la metáfisis de los huesos largos, como se puede apreciar claramente en la figura 3. Las placas metafisiarias son las responsables del crecimiento longitudinal unipolar del hueso.



Figura 3. Radiografía de los huesos largos de las manos. Sujeto masculino de 5 años de edad que presenta retardo en el crecimiento. Obsérvese la densidad incrementada en las placas de crecimiento (metáfisis) de los huesos largos de sus manos. En este caso, sus niveles de plomo en sangre correspondieron a 37.7

$\mu\text{g/dl}$ . (Foto cortesía de la Dra. Celsa López, de la unidad de investigación clínica y epidemiológica del IMSS, Torreón, México). (44)

## **7.2. Sistema Nervioso.**

El desarrollo neurológico es muy complejo, hay muchas oportunidades para que el plomo interfiera con el desarrollo normal. Un efecto morfológico muy importante es el resultado de deterioro por plomo de la propagación cronometrada de las conexiones entre una célula y otra, lo que da por resultado modificación de los circuitos neonatales.

El plomo funciona desde el punto de vista farmacológico al interferir con los mecanismos sinápticos de liberación de trasmisor (p.ej., colinérgico, noradrenergico, GABAérgico y dopaminérgico): Las concentraciones micromolares del plomo activan la proteincinasa C en microvasos del cerebro. Esta cinasa dependiente del calcio actúa como un segundo mensajero en la regulación del metabolismo celular.

El deterioro origina solución de continuidad de la barrera hematoencefálica normalmente estrecha.

El plomo puede reemplazar al calcio en reacciones dependientes de calmodulina, así como inhibir la  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPasa unida a membrana, e interferir con la liberación mitocondrial de calcio y con el metabolismo de energía.

Estos efectos son en potencia reversibles si es posible eliminar el plomo de los sitios activos. El cerebro fetal puede ser en particular sensible a los efectos tóxicos de plomo debido a la inmadurez de la barrera hematoencefálica en el feto. (4,6)

### **7.2.1. Neuropatía Periférica.**

Es una manifestación clásica por la toxicidad por plomo, particularmente el pie y muñeca caídos. Después de degeneración de células de Schwann inducida por plomo hay desmielinización segmentaria y tal vez degeneración axónica.

Es posible que haya degeneración walleriana de las raíces posteriores de los nervios ciáticos y tibial, pero los nervios sensitivos son menos sensibles al plomo que la estructura y la función de los nervios motores. (6)

### **7.3. Sistema Renal.**

La nefropatía por plomo es uno de los efectos más antiguos reconocidos del plomo sobre la salud. Sin embargo, con la reducción progresiva de la exposición en el lugar de trabajo, y con indicadores biológicos más sensibles de toxicidad renal, la nefropatía por plomo debe ser una enfermedad cada vez menos frecuente: la patogenia de tal nefropatía se describe como aguda (reversible) o crónica (irreversible). (6)

El plomo es un carcinógeno renal en roedores, pero no está claro si lo es para seres humanos. La nefrotoxicidad aguda por plomo se limita a cambios funcionales y morfológicos en las células de los túbulos proximales. Se manifiesta por decremento de las funciones de transporte dependientes de energía, incluso aminoaciduria, glucosuria y transporte de iones. Se cree que los cambios funcionales se relacionan con un efecto del plomo sobre la respiración y fosforilación mitocondriales. Estos cambios son reversibles por medio de tratamientos con quelantes. (6)

Un cambio microscópico característico es la formación de un complejo de plomo-proteína que aparece en las células de los túbulos renales. No hay un biomarcador específico para la nefropatía inducida por plomo. Pero puede producir una nefropatía intersticial crónica. (6)

#### **7.4. Sistema cardiovascular.**

El plomo puede afectar de manera directa a la presión arterial al alterar la sensibilidad del músculo liso vascular a estímulos vasoactivos, o de modo indirecto al alterar las aferencias neuroendocrinas hacia el músculo liso vascular. Las personas expuestas al plomo tal vez tengan una actividad de renina plasmática más alta que lo normal durante periodos de exposición modesta; aun así, en presencia de exposiciones crónicas más graves, dicha actividad puede ser normal o estar deprimida. (6)

#### **8. Efectos del plomo durante el embarazo y la lactancia**

El incremento del plomo circulante durante el embarazo y la lactancia puede ser explicado por la necesidad de movilizar calcio tanto para el desarrollo óseo del producto, como para la producción de la leche. Esa movilización consistiría en su salida desde el hueso (resorción ósea), que actúa como una fuente interna de calcio, o provenir de fuentes externas a través del calcio de la dieta (absorción intestinal).

Las hormonas paratiroidea, calcitonina y dihidroxicolecalciferol son las más importantes en la regulación de los niveles de calcio sanguíneo y en la movilización general de calcio en la sangre, estos sistemas hormonales estimulan simultáneamente la resorción ósea y la absorción intestinal, a la vez que disminuyen la excreción renal de calcio. Lo contrario ocurre cuando se presenta un incremento de los niveles sanguíneos de calcio. Esta fina regulación permite que los niveles de calcio en la sangre se mantengan constantes y asegura los flujos de calcio hacia los distintos órganos.

El plomo se encuentra en el hueso en forma de sales de fosfato e interacciona con las proteínas de la matriz ósea de manera similar a como lo hace el calcio. Por

ésta razón se estima que el plomo puede ser extraído del hueso durante el proceso de resorción, respondiendo a la degradación de hueso inducida por las proteasas y las fosfatasas que permiten extraer el calcio. Sin embargo, no solamente el proceso de resorción está involucrado en la salida del plomo óseo, sino que también el recambio de calcio-plomo podría estar implicado en este fenómeno. El proceso de reabsorción de calcio sucede aun en condiciones donde los niveles de calcio en la dieta son elevados; la explicación fisiológica de este hecho radica en que el calcio que se absorbe tiene que ser acumulado en el hueso, aguardando el momento en el que sea requerido. Debido a que la absorción intestinal de calcio no es un proceso continuo y permanente, puesto que depende de la presencia de calcio en el intestino, y a que por otro lado los requerimientos de calcio suceden en periodos finitos y definidos, se hace necesario tener en todo momento la posibilidad de obtener calcio del hueso por el proceso de reabsorción. Cuando los niveles de calcio en la dieta son adecuados no se presentan descalcificaciones debido a que el calcio que sale del hueso es restituido por el que ingresa en la dieta, dando lugar a un fenómeno de recambio; así, el calcio sale y entra al hueso en periodos muy cortos, dando la impresión de permanencia. Lo más destacable es que este recambio del calcio podría también influir en la movilización de plomo, incrementando su salida al estimular el recambio y posiblemente por una competencia entre ambos metales por sitios de unión en la matriz ósea. El no suplementar con calcio la dieta de las mujeres embarazadas y en etapas de lactancia puede provocar daños importantes, que van desde problemas renales hasta crisis hipertensivas e hipocalcemias severas, además de la descalcificación, donde en el balance final surge la disyuntiva de riesgo-beneficio para este tipo de casos.

Los experimentos realizados en los laboratorios con ratas han mostrado que el plomo puede absorberse de manera importante durante el embarazo y la lactancia cuando hay una exposición por la vía digestiva; si en estas condiciones se suplementa la dieta con calcio, la absorción intestinal de plomo disminuye. En este sentido resultaría benéfico suplementar la dieta con calcio. Sin embargo, la salida

de plomo ósea se incrementa con el aumento de la concentración de calcio en la dieta y posiblemente la excreción urinaria de plomo se vería disminuida, debido a un incremento en la secreción tubular de calcio, necesaria para eliminar el calcio por la orina. Los experimentos indican que el hecho de reducir el calcio durante estas etapas no es la solución, ya que la ausencia de calcio en la dieta provoca un incremento en la movilización de calcio óseo, y en consecuencia una salida de plomo óseo; además de los problemas que puede generar la disminución de calcio en la dieta en dichas etapas. Es factible que podamos encontrar una concentración óptima de calcio en la dieta, la cual pudiera disminuir el grado de movilización de plomo en el organismo y al mismo tiempo satisfacer las demandas de calcio propias de estos estados fisiológicos. (4-6)

## **9. Carcinogenicidad.**

El plomo se clasifica en carcinógeno 2B. Las neoplasias que se encuentran con mayor frecuencia son del aparato respiratorio y digestivo.

Los compuestos del plomo estimulan la proliferación de las células epiteliales de los túbulos renales.

La inducción de adenocarcinoma renal por plomo en ratas se relaciona con la dosis y no se ha informado a cifras por debajo de las que producen nefrotoxicidad. La patogenia de las neoplasias renales vinculadas con plomo puede ser un efecto genético directo relacionado sobre las células de los túbulos renales, pero también una respuesta inespecífica a la hiperplasia epitelial. (6)

## **10. Manifestaciones clínicas por intoxicación aguda**

Las formas organolépticas del plomo presentan mayor toxicidad aguda que los compuestos inorgánicos.

Tras la ingestión de plomo son frecuentes los síntomas gastrointestinales, como irritación de mucosas digestivas, náuseas, vómitos blanquecinos (“copos de algodón”) por formación de cloruro de plomo, diarreas negruzcas por formación de sulfuro plúmbico o, bien, melénicas por hemorragia gastrointestinal. Las diarreas son seguidas, por estreñimiento. Además pueden originar anemia, por la existencia de crisis hemolíticas, aunque es más frecuente en la intoxicación crónica. (4, 12)

En la producción de vómito existen dos factores, el irritativo local y la estimulación sobre áreas representativas del SNC por aumento de la presión intracraneana, con estimulación del centro emético.

Puede desencadenarse daño hepático e insuficiencia renal aguda con necrosis de los túbulos proximales, aminoaciduria, glucosuria y fosfaturia.

Puede producirse, también, daño cerebral permanente, convulsiones, trastornos cardiorespiratorios, bradicardia, colapso y muerte por parálisis cardíaca. (4)

## **11. Manifestaciones clínicas intoxicación Crónica**

La intoxicación crónica se denomina saturnismo. Se caracteriza por anorexia, debilidad y pérdida de peso. A diferencia del cuadro agudo donde predominan las diarreas, en la intoxicación crónica destaca el llamado “cólico saturnino” que es un cuadro de abdomen agudo, con crisis de dolor abdominal intenso y difuso, abdomen retraído y estreñimiento.

Estos pacientes pueden manifestar sabor metálico en la boca, secundario al paso del plomo a la saliva. Además puede presentar pigmentación de color grisáceo en la mucosa gingival siendo conocida esta pigmentación como ribete de Burton, ocasionada por la precipitación de sulfuros de plomo en la encía del paciente. (4,12)

Se produce anemia y además, con cierta frecuencia, aparece un punteado basófilo en los glóbulos rojos por el depósito de ácidos nucleicos. (12)

La figura 4 muestra un frotis de sangre en el cual se puede apreciar el depósito de ácidos nucleicos en el citoplasma del eritrocito, efecto causado por la intoxicación por plomo.



Figura 4. Alteración eritrocitaria ocasionada por la intoxicación por plomo. Obsérvese el punteado óbasófilo en los eritrocitos señalado por la flecha. Los puntos dentro del eritrocito corresponden a agregados anormales de ribosomas. Esta alteración se presenta en síndromes talasémicos, intoxicación por plomo, deficiencia de hierro y otros síndromes que se acompañen de eritropoyesis ineficaz.

En el sistema musculo esquelético podrían presentar: mialgias, artralgias y gota, en el cardiovascular, hipertensión, y en el reproductivo oligospermia.

En la mujer embarazada que tiene niveles altos de plomo puede ocasionar aborto espontáneo u óbitos. En el hombre se ha comprobado que en niveles moderados de plomo ( $40 \mu\text{g/dl}$ ) hay una disminución del número de espermatozoides y anomalías morfológicas en los mismos. (10)

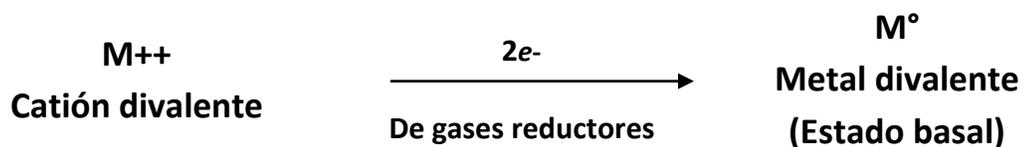
El cuadro 3 y la figura 5 muestran un panorama general de los efectos de la intoxicación con plomo.

<b>Intoxicación leve</b>	<b>Intoxicación moderada</b>	<b>Intoxicación severa</b>
<b>Plombemia</b> 35-50( $\mu\text{g/dl}$ )-(niños) 40-60 ( $\mu\text{g/dl}$ )-adultos	Artralgia	Plombemia 70 ( $\mu\text{g/dl}$ )o más-niños 100 ( $\mu\text{g/dl}$ )o más-adultos
<b>Mialgia o parestesia</b>	Fatiga general	Parésis o parálisis
<b>Fatiga leve</b>	Dificultad concentración	Encefalopatía — puede provocar convulsiones,
<b>Irritabilidad</b>	Cansancio muscular	Línea de plomo (azul – negra) en las encías.
<b>Letargo</b>	Tremor	Cólicos
<b>Molestias abdominales</b> <b>Ocasionales</b>	Cefalea	Cambios en los niveles de conciencia.
	Dolor difuso abdominal	Coma
	Vómito	Muerte
	Pérdida de peso	
	Constipación	

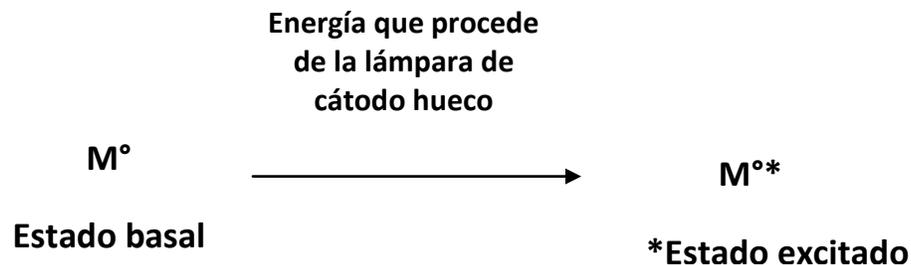
**Cuadro 3. Signos y síntomas asociados a intoxicación por plomo**



La espectrofotometría de absorción atómica se emplea como método de referencia para analizar iones de calcio, magnesio, cobre, zinc y otros. Los iones que se miden con mayor frecuencia son calcio y magnesio. La espectrofotometría de absorción atómica se basa en la absorción de radiación magnética por lo átomos no excitados (neutros) en la flama. La radiación electromagnética consiste en una longitud de onda muy específica que se produce a partir de una lámpara de cátodo hueco (constituida por el mismo metal que se analiza). Este método es similar a la fotometría de flama porque los gases reductores de las flamas transforman los iones metálicos en átomos neutros.



Una vez que los átomos en estado basal se encuentran en la flama, se ilumina ésta con radiaciones electromagnéticas procedentes de la lámpara de cátodo hueco. Los átomos en estado basal absorben la energía electromagnética de la lámpara y efectúan transiciones electrónicas del estado basal al estado excitado.



Las radiaciones electromagnéticas que se transmiten y que no son absorbidas por los átomos en el estado basal llegan al monocromador: Este transmite solo una señal de energía radiante pura y un detector determina la reducción de intensidad luminosa de haz que procede de la lámpara de cátodo hueco. La disminución de intensidad es proporcionada a la intensidad del metal en la muestra. A las temperaturas de la flama casi 99.99% de los átomos se encuentran en estado basal. Por tanto, la espectrofotometría de absorción atómica es más sensible que la flama. (13)



Figura 6. Espectrofotometría de absorción atómica. La mediciones de plomo en sangre se realizaron en la FES áCuautitlán.

# Capítulo II

## Antecedentes

A partir de la revisión bibliográfica que se realizó para conocer el avance que las investigaciones han aportado acerca de la plumbemia tóxica en mujeres gestantes, a continuación se presentan algunos trabajos realizados a nivel nacional e internacional.

**Thompson GN y colaboradores** en 1985, realizaron un estudio en la Ciudad de México en mujeres puérperas lactantes. Observaron que los predictores significativos de los niveles de plomo en hueso eran: años de residencia en la Ciudad de México, bajo consumo de alimentos ricos en calcio; ningún consumo de calcio durante el embarazo y la edad. (14)

**Pounds y colaboradores** en 1991, en su artículo toxicidad del plomo en células y moléculas de los huesos; notificaron una asociación entre el plomo en sangre y la incidencia de malformaciones esqueléticas. Explican plenamente el significado de hueso como un tejido blanco de la toxicidad del plomo, así como un depósito de plomo sistémico, y consideran necesario definir los efectos del plomo en los componentes celulares del hueso. La intoxicación por plomo, directa e indirectamente altera muchos aspectos de la función de las células óseas. En primer lugar, dar lugar indirectamente puede alterar la función celular ósea a través de cambios en los niveles circulantes de las hormonas, particularmente 1,25-dihidroxitamina D3, que modulan la función de las células óseas. En segundo lugar, el plomo puede alterar directamente la función celular ósea por perturbar la capacidad de las células óseas para responder a la regulación hormonal. Por ejemplo, la 1,25-dihidroxitamina D3 estimula la síntesis de la osteocalcina, una proteína de unión a calcio sintetizada por las células óseas

osteoblásticas yes inhibida por los niveles bajos de plomo. La alteración de la producción de osteocalcina puede inhibir la formación de hueso nuevo, así como el acoplamiento funcional de los osteoblastos y osteoclastos. En tercer lugar, el plomo puede afectar a la capacidad de las células para sintetizar o segregar otros componentes de la matriz ósea, tales como sialoproteínas, colágeno o hueso (osteopontina). Por último, el plomo puede afectar de manera directa por sustitución de calcio en los sitios activos del sistema de mensajería de calcio, lo que resulta en la pérdida de la regulación fisiológica. Los efectos del plomo sobre el reclutamiento y la diferenciación de las células de restos óseos que se establezcan. El análisis compartamental indica que la distribución y el comportamiento cinético de plomo intracelular en los osteoblastos y los osteoclastos es similar a varios otros tipos de células. Muchos de los efectos tóxicos del plomo en función de la célula ósea pueden ser producidos por la perturbación del calcio y los sistemas mensajeros de AMPc en estas células. (15).

**Bellinger y colaboradores** en 1991 también informaron acerca de una asociación negativa entre talla y plomo en sangre más allá de los 15  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . La relación entre la exposición prenatal a niveles de plomo y el crecimiento fetal fue evaluado en una muestra de 4.354 embarazos en los que la media aritmética del nivel de plomo en sangre del cordón umbilical fue de  $7.0 \pm 3.3 \mu\text{g}/\text{dl}$ ). Los niveles altos de plomo en la sangre del cordón se asociaron significativamente con gestaciones de duración un poco más largo. Al comparar los niveles de plomo en sangre del cordón umbilical de niños  $\geq$  a 15  $\mu\text{g}/\text{dl}$  con las personas con niveles  $\leq$  de 5  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , el riesgo ajustado es de 1.5 a 2.5. Se observó bajo peso al nacer (menos de 2500 g) y para el crecimiento fetal índices que expresan el peso al nacer en función de la duración de la gestación (por ejemplo, pequeños para la edad gestacional, retardo del crecimiento intrauterino). Se concluye que el riesgo de crecimiento intrauterino adverso no se incrementa en los niveles de plomo en sangre del cordón inferior a 15  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , pero que un modesto incremento en el riesgo puede estar asociado con niveles mayores o iguales a 15  $\mu\text{g}/\text{dl}$  (16)

**Hernández Ávila** y cols., en 1991, determinaron los principales contribuyentes de los niveles de plomo en sangre, en una población de mujeres de nivel socioeconómico medio y bajo del suroeste de la Ciudad de México.

Ellos encontraron que los niveles de plomo en sangre oscilaron desde 1 hasta 52  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , con una media de 10,6  $\mu\text{g} / \text{dl}$ . 5% de las mujeres tenía un nivel de plomo en sangre de  $>25 \mu\text{g} / \text{dl}$  y un 22% tuvo niveles  $> 15 \mu\text{g}/\text{dl}$ .

No se observó ninguna diferencia en los niveles promedio de plomo en la sangre entre las mujeres que fuman en comparación con aquellos que no fumaban.

Las mujeres que preparaban la comida en utensilios de cerámica vidriada con plomo (CVP) tenían niveles de plomo en sangre más altos en comparación con las mujeres que nunca utilizan la CVP. Véase la figura 7 y el cuadro 4.

También se observó una correlación positiva y significativa entre los niveles de plomo y la mayor frecuencia de consumo de alimentos preparados en CVP. (Véase la figura 8.)

El consumo de alimentos enlatados o de agua del grifo, no fueron factores determinantes de los niveles de plomo en la sangre. 94% de las mujeres reportaron consumo de alimentos enlatados, pero su nivel de plomo en sangre no era diferente al observado en mujeres que no comían alimentos enlatados. Véase figura 7. (17)

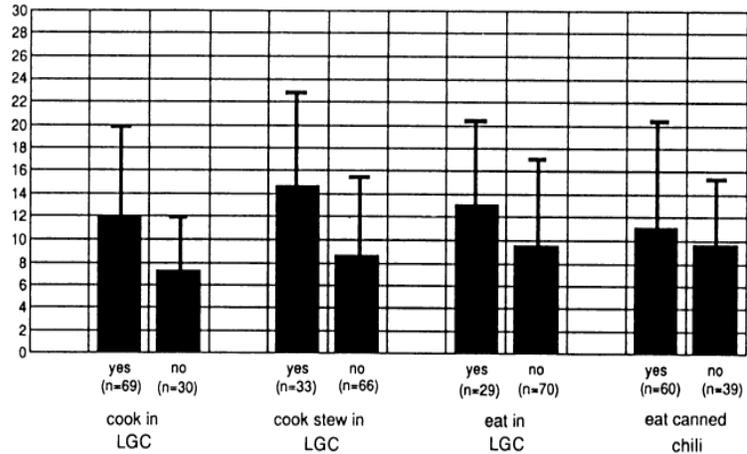


Figura 7. Nivel promedio ( $\pm$  DS) de plomo en sangre en mujeres que utilizaban CVP para cocer, freír y comer sus alimentos. (17)

Variable	F	p
Cocer alimentos en utensilios de CVP	10.1	0.32
Freír o guisar en utensilios de CVP	7.46	0.007
Frecuencia de consumo de alimentos cocinados en CVP	2.13	0.15
Comer alimentos en utensilios de CVP	0.46	0.5
Tienen teléfono en su casa	6.64	0.012

Cuadro 4. Análisis de covarianza multivariado que incluye algunos determinantes que contribuyen a elevar el nivel de plomo en sangre de mujeres de edad entre 21 y 57 años, habitantes de Tlalpan, Ciudad de México. CVP. Cerámica vidriada con plomo. (17)

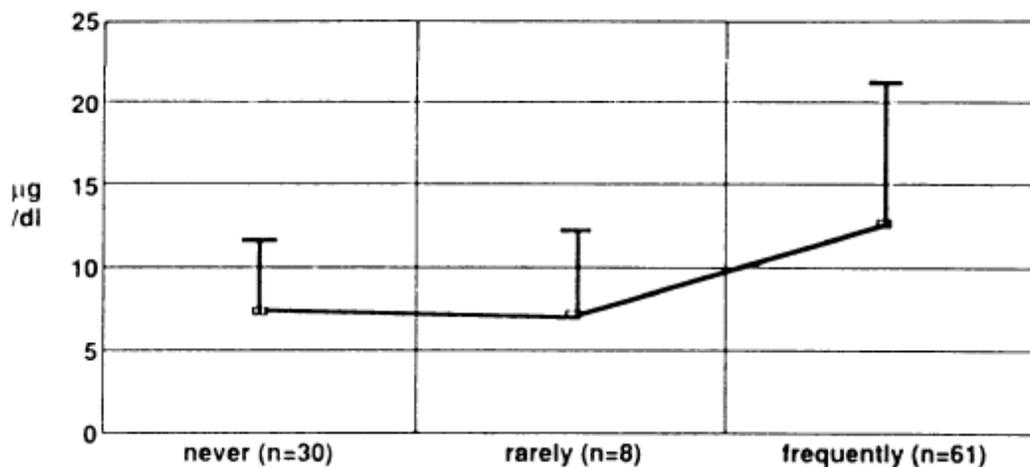


Figura 8. Nivel de plomo en sangre de acuerdo a la frecuencia de consumo de alimentos que fueron preparados en utensilios de CVP en mujeres de 21 a 57 años de edad. Test de tendencia;  $p = 0.0008$  (17)

**Hernandez Ávila M** en la publicación titulada “Higher milk intake during pregnancy is associated with lower maternal and umbilical cord lead levels in post-partum women en el año 1997. En este estudio evaluó el efecto del consumo de leche en 1849 binomios de madres e hijos que participan en el programa de vigilancia epidemiológica del binomio madre e hijo en la Ciudad de México. Los niveles promedio de plomo fueron de  $11,2 \mu\text{g}/\text{dl}$  de plomo sanguíneo materno (PSM) y  $10,8 \mu\text{g}/\text{dl}$  en el cordón umbilical. La correlación entre el plomo en la sangre del cordón umbilical y el plomo fue de  $r = 0,74$ . Cuarenta y ocho por ciento de plomo en sangre materno superaron los  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$  y 9.5% superaron los  $20 \mu\text{g}/\text{dl}$ . El plomo en la sangre materna se relaciona positivamente con el uso de cerámica vidriada y la exposición al tráfico y esta inversamente relacionada con el consumo de leche y jugo de naranja. Las mujeres que informaron el consumo de

más de 7 vasos de leche por semana tenían un nivel de plomo en sangre de 8,7  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , en comparación, las mujeres que reportaron un consumo de menos de 7 vasos por semana tenían un nivel de plomo en sangre de 11,1  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . Hallazgos similares se observaron para el plomo medido en el cordón umbilical. La asociación entre los niveles de plomo y el consumo de leche se mantuvo sin cambios después de tomar en cuenta otros predictores de plomo en la sangre. Este estudio sugiere que una simple intervención podría reducir el nivel de plomo en las mujeres y sus recién nacidos. (18)

**Kim R.** en su estudio "*Chronic lead exposure and physical growth parameters in a 13-year follow-up study*" realizado en Boston en 1995, investigaron las relaciones entre la exposición crónica al plomo y el crecimiento físico en una cohorte de niños reevaluados 13 años después del examen inicial. Se midió peso, talla y niveles de plomo en la dentina de 270 niños en 1975-78. En 1989-1990 se reexaminados 79 de estos niños para la medición de peso, talla y niveles de plomo en hueso mediante los medios de in vivo de K-fluorescencia de rayos X. Para evitar posibles factores de confusión por la raza y el antecedente de quelación, el análisis se restringió a sujetos de raza blanca, sin antecedente de terapia de quelación del plomo. Un total de 236 sujetos proporcionan información completa para el estudio de la sección transversal relación entre niveles de plomo en la dentina y los cambios en el crecimiento físico.

El nivel de plomo promedio en la dentina fue de 14,9  $\mu\text{g}/\text{g}$ , en la rótula y la tibia de 1,2 y 5,0  $\mu\text{g}/\text{g}$ , respectivamente. El nivel de plomo en la dentina se asoció positivamente con el índice de masa corporal a partir de 1975-1978 ( $\beta = 1,02$ ,  $p = 0,03$ ) y el aumento de índice de masa corporal entre 1975-78 y 1989-90 ( $\beta = 2,65$ ,  $p = 0,03$ ). Los niveles de plomo en hueso no se asociaron significativamente con el crecimiento físico. Este es el primer estudio sobre la exposición crónica a plomo el índice de masa corporal. Los resultados sugieren que la exposición crónica por plomo en la infancia puede dar lugar a la obesidad que persiste en la edad adulta. (19)

**González Cossío T**, realizó un estudio en la Ciudad de México en el año de 1997 titulado *Decrease in Birth Weight in Relation to Maternal Bone-Lead Burden* cuyos objetivos fueron conocer si los niveles de plomo en hueso materno pueden tener un efecto sobre el peso al nacer, la supervivencia infantil, el crecimiento y desarrollo. Sugieren que los niveles bajos de exposición al plomo del feto, según las estimaciones de los niveles de plomo en la sangre del cordón umbilical, al nacer, puede tener un efecto negativo sobre el peso al nacer. El cordón umbilical y las muestras de sangre materna venosa y los datos antropométricos y sociodemográficos se obtuvieron en el parto y posparto de 1 mes. Los niveles sanguíneos de plomo se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. La tibia materna y los niveles de la rótula de plomo se determinaron en un mes después del parto con el uso de una fuente  $^{109}\text{Cd}$  instrumento KX-fluorescencia de rayos. Los datos de interés se obtuvieron de 272 parejas madre-hijo. El plomo en la tibia fue el biomarcador claramente relacionado con el peso al nacer. La disminución de peso al nacer asociado a incrementos en plomo en la tibia fue lineal y se aceleró en el cuartil más alto. En el cuartil superior, los neonatos fueron por término medio, 156 gramos más ligeros que los del cuartil más bajo. Otros predictores significativos el peso al nacer incluyeron el estado nutricional materno, paridad, educación, edad gestacional y el tabaquismo durante el embarazo. Los resultados indican que la carga de plomo en hueso está inversamente relacionada con el peso al nacer. En conjunto con otras investigaciones que indican que el plomo puede movilizar del hueso hacia el plasma sin cambios perceptibles de plomo en sangre en su conjunto, estos hallazgos sugieren que el plomo en hueso podría ser un mejor biomarcador que el plomo en la sangre. Dado que el plomo sigue presente en el hueso durante años o décadas, la movilización de plomo en los huesos durante el embarazo puede representar una significativa exposición del feto, con consecuencias para la salud (20)

**Hansen Cristian** y colaboradores estudiaron en 1999, los niveles de plomo en sangre de niños de la ciudad de Córdoba, Argentina, con el objeto de proveer información sobre el riesgo para la salud de la población infantil de la ciudad de Córdoba por absorción del plomo ambiental. Fueron estudiados 172 niños de 6 meses a 9 años de edad concurrentes a Hospitales y Dispensarios entre diciembre de 1995 y diciembre de 1996. La determinación de plomo fue realizada por espectrofotometría de absorción atómica (AA/ GF). Observaron que el 73.3% de los niños estudiados presentó plombemias menores a 10.0 µg/dl; el 19.2% mostró concentraciones de riesgo (10.0-14.9 µg/dl) y el 7.6%, concentraciones iguales o mayores a 15.0 µg/dl. Pudo establecerse que los niños con las concentraciones más altas, habitaban en zonas donde existían numerosos talleres mecánicos. Tres niños de este grupo habitaban en asentamientos marginales. Del grupo con plombemias bajas (< 10.0 µg/dl), 25 niños residían en el centro de la ciudad y/o cerca de avenidas de intenso tránsito y pertenecían a familias de nivel socio-económico medio. Los autores demostraron que en la población estudiada, el 26.7% de los niños presentaron plombemias que excedían lo estimado como límite de seguridad para la población infantil (mayores a 10.0 µg/dl) y que una importante proporción de ellos poseían niveles de plomo iguales o superiores a 15.0 µg/dl, y en cuya etiología fueron identificados los factores laborales y socio demográficos.

(21)

**Navarrete Espinosa J.** y colaboradores en el 2000 su objetivo fue establecer la relación entre el nivel de plomo sanguíneo materno (PSM) y el de sangre en cordón umbilical (PSC) al momento del parto, así como determinar los principales predictores del PSM en derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), en el Distrito Federal (D.F). Realizaron un estudio transversal en el que reclutaron voluntarias con embarazo normoevolutivo y les tomaron muestras de sangre al momento del parto, en cuatro hospitales del IMSS en el D.F., de 1991 a 1993. Tomaron además, muestra de sangre de cordón umbilical. Los datos fueron analizados mediante regresión lineal simple y múltiple. Estudiaron un total de 1

404 binomios madre-hijo; el promedio de edad de las madres fue de 25 años. La media de PSM fue  $10.7 \pm 6.5 \mu\text{g/dl}$ ; no se encontraron variaciones significativas por hospital, edad o estado civil. Para el PSC la media fue de  $10.4 \pm 6.2 \mu\text{g/dl}$ . Por cada aumento en una unidad logarítmica de PSM, el PSC aumenta 0.62 ( $p < 0.01$ ) unidades logarítmicas. La correlación entre ambos fue de 0.61 ( $p < 0.01$ ). Los principales predictores de PSM fueron el uso de loza vidriada, el consumo de leche y jugo de naranja, estos últimos se asociaron inversamente con el PSM. Un 47% de las madres y 50% de los niños tuvieron valores superiores a  $10 \mu\text{g/dl}$ . En 578 recién nacidos se registraron niveles de plomo superiores a los de la madre. Los autores sugieren continuar la línea de investigación para proponer intervenciones. (22)

**Azcona MI** en el 2000 realizó un estudio cuyo principal objetivo fue identificar si existía una asociación negativa entre los niveles de plomo en sangre y la coordinación visomotora y el equilibrio de escolares. Realizó un estudio transversal en 255 niños de 8 a 10 años de edad, que asistían a escuelas del Sector 1 del Instituto de Educación Pública del Estado de Oaxaca, durante noviembre y diciembre de 1998. Aplicaron las pruebas de evaluación de la percepción visual de Frostig y la subescala de equilibrio Frostig Movement Skills Test Battery y se les tomó una muestra de sangre para la determinación de plomo por medio de espectrometría de absorción atómica. Asimismo aplicó un cuestionario sociodemográfico y se evaluó la historia de salud del niño. Se relacionó el nivel de plomo sanguíneo con los resultados de las pruebas de percepción visual y del equilibrio mediante modelos de regresión múltiple. Se usó la técnica de simulaciones de Montecarlo para probar el efecto del plomo dentro del modelo. La media geométrica de las concentraciones de plomo en sangre fue de  $11.5 \mu\text{g/dl}$ . El nivel de plomo se relacionó significativamente con el cociente de integración visomotora ( $p = 0.042$ ). Este disminuye 1.78 (IC 95% -3.51, -0.06) puntos por cada incremento de  $10 \text{ mg/dl}$  en los niveles de plomo en sangre del niño. De las pruebas que constituyeron este cociente, sólo se relacionó

significativamente el plomo con la de coordinación ojo-mano ( $p=0.045$ ) y de relaciones espaciales ( $p=0.039$ ). El ingreso familiar también se relacionó significativamente con el cociente de integración visomotora, a mayor ingreso los resultados en las pruebas del niño fueron más altos. Sólo 3.1% de los niños obtuvieron puntuaciones consideradas clínicamente anormales. No se encontró una relación significativa entre el plomo y el cociente de la respuesta motriz reducida, el cociente de percepción visual general y las pruebas de equilibrio. Concluyeron que la relación negativa entre el plomo y la habilidad visomotora concuerda con los resultados encontrados en niños en otros países. Al parecer las concentraciones de plomo en sangre, que son comunes en los niños de Oaxaca, son suficientes para ocasionar una limitación visomotora de naturaleza sutil. Los resultados de este estudio señalan la necesidad de reforzar la iniciativa de reducir la exposición de los niños a las fuentes de exposición conocidas, en especial barro vidriado y, por lo tanto, reducir los niveles poblacionales de plomo en sangre. donde concluyó que la principal fuente de exposición de los niños fue la cerámica vidriada asociada a concentraciones elevadas de plomo en sangre, además demostró que el sistema visomotor se ve afectado incluso a concentraciones consideradas como asintomáticas.(23)

**Danza Franco** en 2000, reportó diversos efectos nocivos que ocasiona el plomo entre ellos destaca que este elemento atraviesa fácilmente la barrera placentaria causando cambios en el embrión, tales como reducción de los movimientos respiratorios, aumento de los latidos cardíacos, alteración de la nutrición y el sistema nervioso, aportando menos oxígeno al feto por lo que son mayores las posibilidades de hemorragias y ruptura de placenta, lo que puede conducir a nacimientos prematuros y reducción de peso del RN a término. (24)

**Guerra Tamayo** en 2003, publicó los efectos de la exposición al plomo relacionados con el tiempo requerido para embarazo. Determinar los efectos de la exposición al plomo relacionados con el tiempo requerido para embarazo. Realizó

un estudio en 142 mujeres residentes en la Ciudad de México, participantes en un estudio de cohorte para evaluar diversos efectos del plomo sobre la salud reproductiva. Se realizaron mediciones de plomo en sangre y en hueso a cada una de las participantes en el momento de ingresar al estudio, y se obtuvo información relativa a la exposición. A cada una de las participantes se les siguió hasta el momento en que se embarazaron, o bien, hasta el tiempo de término del estudio, con el propósito de determinar la asociación entre la exposición al plomo y el tiempo requerido para quedar embarazada. Del total de mujeres que iniciaron el estudio se embarazaron 42, de las cuales 34 lo lograron antes del primer año de seguimiento y ocho posteriormente. Las medias de las concentraciones de plomo en sangre fueron de 9.3  $\mu\text{g}/\text{dl}$ ; en rótula y tibia fueron de 16.0 y 11.0  $\text{mg}/\text{g}$  de hueso mineral, respectivamente. No se detectaron diferencias en los niveles de plomo en sangre respecto al tiempo que requirió la mujer para embarazarse en el primer año; no obstante, se encontró que en las mujeres con plomo en sangre por encima de 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  el riesgo de no embarazo fue cinco veces mayor [IC 95% (1.9-19.1)] después de un año de seguimiento, comparado con aquellas mujeres con plomo en sangre por debajo de 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . La exposición a concentraciones altas de plomo puede ser un factor de riesgo importante en el tiempo requerido para que una mujer quede embarazada, principalmente en aquellas que siendo fértiles tienen periodos mayores de un año buscando un embarazo. (25)

**Meneses GF y cols.**, en el 2003 realizaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar los niveles de plomo en sangre de niños morelenses y sus factores de exposición. Fue un estudio transversal para analizar, por voltimetría anódica, los niveles de plomo en sangre de 232 niños de 1 a 12 años de edad, que acudieron de junio a octubre de 1996 al Hospital del Niño Morelense de Cuernavaca, Morelos, México. El valor de concentración de plomo se transformó al logaritmo natural; se estimó la razón de momios para algunos factores de exposición que se incorporaron a un modelo de ANOVA. Observaron que la media aritmética de plomo en sangre fue 6.7  $\text{mg}/\text{dl}$ ; 29.7% rebasaron los 10  $\text{mg}/\text{dl}$ ; 66% tenían antecedente de cocinar

alimentos en barro vidriado; 36% de almacenar alimentos, y 19%, consumo de líquidos en ese material. Los niveles encontrados son similares a los reportados en otras poblaciones pediátricas mexicanas en los últimos años.

Entre los principales factores de exposición destacan el uso de barro vidriado para consumo de alimentos o líquidos y la intensidad del tráfico donde viven. Este es el primer estudio que documenta los niveles de plomo en sangre en población infantil de Morelos, México, y sus resultados son punto de partida para acciones futuras de control y prevención. (26)

**Espinal Georgina y cols.**, en el 2005 realizaron un estudio transversal sobre niveles de plomo en sangre y rendimiento académico en escolares de 11-14 años de la escuela primaria república del uruguay de villa francisca en república dominicana Ellos reportaron niveles de plomo en sangre elevados, sin embargo no hubo una relación significativa entre sus niveles de plomo y su rendimiento académico. (9)

**Seijas David**, en 2008 realizó un estudio analítico - ecológico donde midió los niveles de plomo en sangre, hemoglobina y hematocrito, estado nutricional y estratificación socioeconómica, en niños de una comunidad de La Ceiba, Valencia, Estado Carabobo en Venezuela Seleccionaron 60 niños entre 4 – 9 años en el sector Michelena, municipio Valencia, en el 2004. El objetivo fue evaluar la relación entre los valores de plomo en sangre, el estado nutricional y la estratificación socioeconómica en un grupo de niños. Se midió Plomo en sangre, Hemoglobina, Hematocrito y se realizó la evaluación antropométrica. La media de plomo en sangreen varones ( $11,1 \pm 3,1 \mu\text{g/dL}$ ) fue significativamente superior a la encontrada en las mujeres ( $9,5 \pm 2,7 \mu\text{g/dL}$ ). La media de Plomo fue de  $10,5 \pm 3 \mu\text{g/dL}$ , observándose el valor más alto no significativo en el estrato socioeconómico III ( $10,6 \pm 2,9 \mu\text{g/dL}$ ). Las mujeres presentaron mayores porcentajes bajo la norma en el estado nutricional. En el estrato socioeconómico IV se encontró el porcentaje más alto de niños con estado nutricional bajo la

norma. Los valores de Hemoglobina y Hematocrito estuvieron dentro de límites permisibles. El mayor porcentaje de la población estudiada presentó estado nutricional normal, con niveles de Plomo en sangre no críticos. Los niveles de Pb-S no constituyen un nivel alarmante “crítico” de exposición. Los autores sugirieron realizar actividades de prevención primaria para disminuir los niveles de Plomo en sangre observados en los niños. (27)

**Vigeh M, Saito H, Sawada SI.**, en el año 2010, publicaron una revisión bibliográfica titulada “Lead Exposure in Female Workers Who are Pregnant or of Childbearing Age” en la cual su objetivo fue realizar una revisión sobre la acumulación de plomo en el cuerpo y su toxicidad, en particular sobre los cambios en el nivel de plomo en sangre de mujeres embarazadas y en edad reproductiva residentes en Japón. Además, justifican la creación de una línea de investigación dentro de la Salud Industrial, sobre los efectos del plomo en trabajadoras embarazadas.

Los autores recomiendan que las mujeres que están embarazadas o en edad reproductiva eviten la exposición al plomo en su centro de trabajo, incluso a las concentraciones de plomo en sangre menores a 10 µg/dl. Según los autores, existen evidencias científicas que sugieren que la exposición ocupacional a los niveles de plomo “permisibles”, pueden no prevenir su toxicidad, tanto en la fase aguda como a dosis acumuladas. Además, no hay evidencia de un valor umbral bajo o punto de corte, que representen la ausencia de efectos adversos para la salud

Por lo tanto, es preferible que niveles en la sangre sean lo más bajos posible y, de manera óptima, lleguen a cero, sobre todo para los grupos de alto riesgo como las mujeres embarazadas,

Por otra parte, los datos fueron compatibles con una reevaluación de las normas técnicas relacionadas con los niveles de exposición al plomo y con el hecho de que el género juega un papel importante en la acumulación de plomo cuerpo y

biocinética. Es inadecuado extrapolar los resultados de los estudios de hombres en mujeres. Finalmente, los autores señalan que los estudios en trabajadoras embarazadas, encuentran muchas dificultades e inconvenientes, por lo tanto, es de esperarse que la toxicidad del plomo en esta población no ha sido suficientemente estudiada en Japón. (28)

En 2010, **Al-Saleh I, Shinwari N, Mashhour A, Mohamed GE, Rabah A.** del Departamento de Bioestadística, Epidemiología e Informática Científica en Arabia Saudita, mencionan que, a partir de tejido de la placenta, cordón umbilical y en muestras de sangre materna de 1578 mujeres que dieron a luz en el Hospital Al-Kharj King Khalid entre 2005 y 2006, el plomo fue detectado en todos los cordones y la sangre materna y en el 96% de los tejidos placentarios. Sólo en el 0.89% y 0.83% de las muestras de cordón umbilical y sangre materna se presentaron niveles de plomo por encima del límite de los 10 µg/dl, El plomo en la sangre materna también fue mayor (2,3%) que la referencia del valor alemán en las mujeres que debe ser de 7µg/dl.(29)

**Dudarev A y cols.**, en 2010 reportan los resultados de la presencia de metales pesados como el plomo en la sangre de mujeres de etnias indígenas en el lejano norte. Ellos encontraron cierta correlación entre la alta exposición a metales pesados y un alto índice de mal desarrollo de los fetos y de embarazos mal logrados en las mujeres observadas. Además, otras correlaciones encontradas fueron estadísticamente insignificantes. Por ejemplo, no se encontró asociación significativa en las mujeres expuestas a metales pesados y la presencia de irregularidades menstruales, ni tampoco con la proporción de sexos en los recién nacidos. (30)

**Asit Rai , Shailendra Kr Maurya, Priyanka Khare, Abhinav Shrivastava y Sanghamitra Bandyopadhyay** publicaron un artículo en agosto de 2010, en el cual, su objetivo fue Investigar el efecto del tratamiento combinado de As, Cd y Pb en el desarrollo del cerebro de ratas, realizando mediciones *in útero* desde su

desarrollo durante la vida intrauterina hasta dos meses postnatal. Las observaciones se realizaron específicamente en los astrocitos primarios que habían sido tratados con dosis letales LC10 y LC75.

Los resultados de estos investigadores demostraron que las crías tenían alteraciones de la conducta, caracterizadas por hiperactividad, aumento de la fuerza de prensión y déficit en el aprendizaje y memoria. La interrupción en la barrera hematoencefálica se asoció con un aumento de la dosis de depósito de metales en el cerebro en desarrollo. Los astrocitos se vieron afectados por el tratamiento como se evidenció por su menor densidad, área, perímetro, compactación y número de procesos, así como también por el aumento en la apoptosis en la corteza cerebral y el cerebelo. Los metales indujeron una reducción sinérgica en la expresión de la proteína glial ácido fibrilar (GFAP) durante el desarrollo cerebral, sin embargo, el retiro post-destete del tratamiento restauró parcialmente los niveles de GFAP en los adultos.

Como conclusión, estos investigadores mencionan que sus observaciones son las primeras en demostrar el resultado de un tratamiento a base de una mezcla de As, Cd y Pb sobre cerebros en desarrollo. El tratamiento tiene la capacidad de inducir toxicidad sinérgica en los astrocitos y que pueden provocar la interrupción de la barrera hematoencefálica, así como causar disfunción de la conducta en ratas en desarrollo. (31)

**Arbuckle TE** en agosto de 2010, publica una revisión que es de un gran valor para la Epidemiología de la plumbemia tóxica en mujeres gestantes. Arbuckle revisa las limitaciones que los estudios epidemiológicos han tenido en el pasado. Determina errores potenciales en la clasificación de las fuentes de exposición al plomo que se asocian con sesgos en la estimación de los riesgos para la salud de las mujeres gestantes.

Este autor nos expresa que el uso de biomarcadores en los estudios de casos y controles y en los estudios de cohorte, significan grandes avances para la

Epidemiología. Sin embargo, este avance es real solo si el biomarcador es una verdadera medida de la exposición durante un periodo de tiempo relevante.

Existe un número de restricciones teóricas y prácticas para su uso, incluyendo la dificultad para interpretar los datos de la biomonitorización, el alto costo analítico y de recopilación de las muestras, posibles sesgos de selección de los participantes y los desafíos éticos de informar los resultados a los sujetos de estudio.

Obtener una muestra representativa y recolectar los íbioespecímenes puede ser problemático. Una estrategia puede ser utilizar propaganda para las mujeres que acuden a la clínica local a realizarse un ultrasonido en etapas tempranas del embarazo.

Por otro lado, realizar mediciones de los químicos xenobióticos o dañinos al organismo en sangre de cordón umbilical, líquido amniótico o meconio pueden proporcionar evidencia inequívoca de que un químico ha entrado en el medioambiente fetal. El análisis de la sangre materna y de la orina pueden ser usadas como sustitutos de la exposición fetal. El uso de suero recolectado y almacenado durante la mitad del embarazo para monitoreo fetal a partir de una cohorte de bancos de biológicos, ofrece una oportunidad única para obtener datos de biomonitoreo que serán de utilidad en estudios relacionados con defectos en el nacimiento. Se concluye que es necesario aumentar la investigación explorando con menos invasividad a los infantes, desarrollar métodos analíticos menos costosos que requieran volúmenes de muestra más pequeños e investigar los efectos de la intoxicación por plomo en el nacimiento. (32)

**Rozende VB y cols.**, en 2010 publican un artículo en la revista Science Total Environmental, en la cual mencionan que su objetivo fue examinar 3 polimorfismos égenéticos relacionados con el receptor para la vitamina D (RVD). Este receptor es una molécula que se asocia con la mineralización del hueso. Los investigadores estudiaron tres polimorfismos para RVD (y sus haplotipos o combinación de alelos) en mujeres gestantes que han estado expuestas a los

efectos tóxicos del plomo. Estos tres polimorfismos para RVD fueron: FokI, BsmI y Apal.

Ellos determinaron plomo en sangre y en suero de 256 mujeres gestantes saludables y en sus cordones umbilicales. Los genotipos para el RVD fueron determinados por PCR.

Los resultados mostraron que los 3 polimorfismos para RVD no tuvieron efectos significativos sobre el plomo en sangre y en suero. Pero, el haplotipo de la combinación de alelos f, a y b para los polimorfismos FokI, Apal y BsmI respectivamente, estuvieron asociados significativamente ( $p < 0.05$ ) con bajos niveles de plomo en suero. Sin embargo, los haplotipos maternos del RVD no tiene efectos sobre los niveles de plomo en el cordón umbilical.

Ahora sabemos, gracias a este estudio que es la primera vez que se demuestra que una combinación de polimorfismo genético (de varios haplotipos) encontrada en el gen que codifica para RVD afecta el nivel de plomo en suero y la relación plomo en suero/sangre en mujeres gestantes. Estos hallazgos podrían tener implicaciones en las consecuencias de la plumbemia tóxica en mujeres gestantes, ya que permitirían predecir quienes son las mujeres que están genéticamente menos propensas a sufrir complicaciones por la toxicidad del plomo durante el embarazo.

El desarrollo neonatal es un proceso complejo que involucra factores genéticos y ambientales. Se ha demostrado que el polimorfismo que regula la hemocromatosis por hierro (RHF), modifica el transporte de plomo y su toxicidad, por lo cual, se sabe que esto afecta el peso del recién nacido. (33)

**Cantonwine D, Lamadrid Figueroa H y cols.**, investigaron el papel de las variantes génicas de RHF C282Y, RHF H63 D y de la Transferrina (TF) P570 S sobre la modificación en la asociación del plomo y el peso del recién nacido en una cohorte de binomios madre-hijo mexicanos. Los sujetos fueron inicialmente incluidos en el estudio entre 1994 y 1995 a partir de 3 hospitales de maternidad en

la ciudad de México, de donde se contó con muestras de sangre de 411 infantes y 565 madres para genotipar.

El Dr. Héctor Lamadrid y sus colegas, encontraron que los niños y las madres con el genotipo RHF H63D fueron los que se correlacionaron significativamente con pérdidas de peso de 110.3 g y 52 g respectivamente. Se sugiere que los sujetos con el genotipo RHF H63D pueden modificar el efecto del plomo en la tibia sobre el peso del recién nacido. Existe asociación negativa entre plomo tibial y peso del recién nacido. Además se concluye que este genotipo RHF H63D puede reflejar las interacciones entre feto y madre con respecto al metabolismo y transporte de metales en el organismo. (34)

**Vigeh M y cols.**, en 2010 publican una investigación cuyo propósito fue aclarar los efectos del plomo sobre la ruptura prematura de membrana fetal (RPMF). Ellos midieron la concentración de plomo en sangre utilizando espectrofotometría acoplada plasma–masa en 332 mujeres de 16 a 35 años durante el periodo inicial de su embarazo (8 a 12 semanas).

Estos investigadores encuentran que la concentración de plomo en sangre fue significativamente mayor en los 36 casos de RPMF respecto a los 296 eventos en los que no ocurrió RPMF. Las concentraciones de plomo fueron de  $4.61 \pm 2.37$  y  $3.69 \pm 1.85$   $\mu\text{g}/\text{dl}$  respectivamente ( $p \leq 0.05$ ).

El análisis de regresión reveló que por cada unidad que incrementa el nivel sanguíneo de plomo en escala logarítmica, se incrementa el riesgo de RPMF hasta 17.98 veces (IC 95% 1.6 a 198.6). Según los investigadores, esto sugiere que el plomo puede incrementar el riesgo de RPMF en las mujeres gestantes con un nivel promedio de menos de 5  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . (35)

**Zhu M y cols.**, en 2010, mencionan que relativamente son pocos los estudios epidemiológicos que han estudiado la asociación entre la exposición a nivel bajo de plomo < 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , nivel de plomo materno y el crecimiento fetal.

Por esa razón, ellos se propusieron examinar si la exposición a bajos niveles de plomo se asocia con decrementos en el crecimiento fetal.

Para ello, realizaron un estudio de cohorte retrospectivo utilizando las mediciones de plomo en sangre de mujeres a partir del registro estatal de metales pesados de Nueva York. También se basaron en los certificados de identidad de 43 288 binomios madre-hijo en Nueva York. El estudio abarcó de 2003 a 2005.

Los investigadores encontraron que existe una asociación estadísticamente significativa entre el nivel de plomo en sangre y el peso del bebe al nacer..

En los niveles de plomo sanguíneo de 5 y 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , hubo asociación con decrementos de 61 y 87 g de peso al nacer respectivamente.

La razón de momios ajustada del nivel sanguíneo de plomo de 3.1 y 9.9  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , fue de 1.04 (IC 95% 0.89 a 1.22) y 1.07 (IC 95% 0.93 a 1.23) respectivamente.

En conclusión, el bajo nivel de plomo en la sangre de la mujer gestante, se asocia con un pequeño riesgo de que el bebe presente bajo peso al nacer. (36)

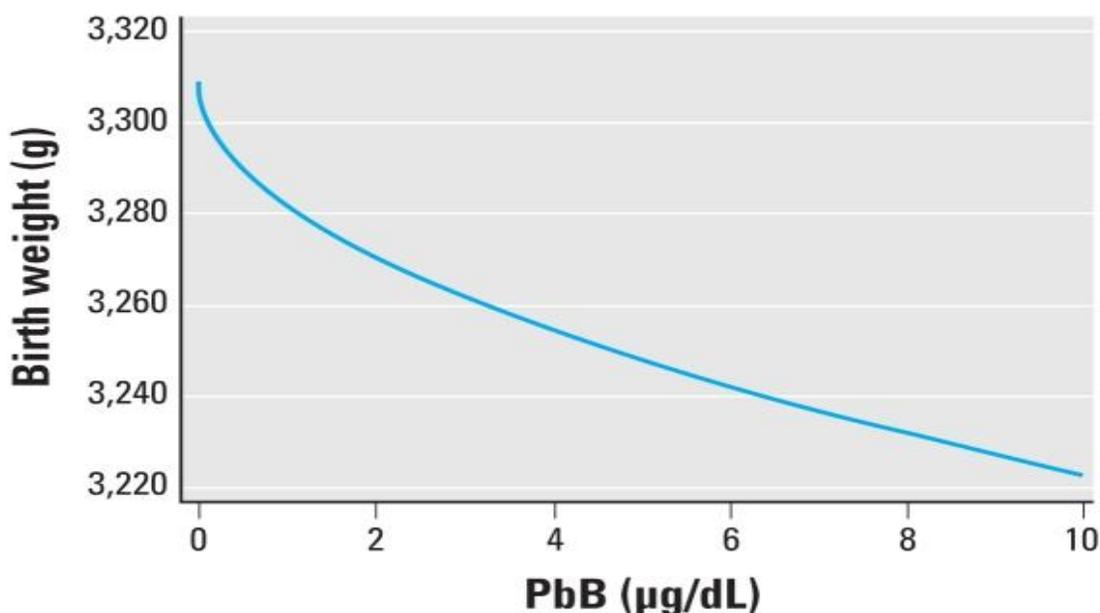


Figura 9. Relación entre el nivel de plomo en sangre y el peso del recién nacido.

Tomado de: Environ Health Perspect. 2010 ; 118(10):1471-5.

Nuevamente **Vigeh M y cols.**, en diciembre de 2010 publican un artículo en el que analizan la asociación entre el nivel de plomo en sangre durante el embarazo temprano y la probabilidad del aborto espontáneo. Ellos mencionan que en realidad no existe evidencia que sugiera que la exposición a altos niveles de plomo incremente el riesgo de aborto espontáneo, y tampoco se sabe si la exposición baja o moderada al plomo eleva este riesgo.

En un estudio longitudinal en el cual participaron 351 mujeres gestantes, Vigeh y cols., observaron que 15 de estas mujeres experimentaron aborto espontáneo después de 12 semanas de gestación pero antes de las 20 semanas.

Ellos colectaron muestras de sangre de las participantes durante el primer trimestre del embarazo para medir nivel de plomo por medio de espectrofotometría plasma-masa inductivamente acoplada. Encontraron un nivel de plomo de  $3.8 \pm 2.0$   $\mu\text{g/dl}$ . Cuando compararon el nivel de plomo en las mujeres que abortaron contra el de las mujeres que tuvieron un embarazo normal, ( $3.51 \pm 1.42$  y  $3.83 \pm 1.99$  respectivamente) no se presentaron diferencias estadísticamente significativas. Sus resultados sugieren que, en las mujeres aparentemente sanas, los niveles de plomo sanguíneo bajos ( $< 5$   $\mu\text{g/dl}$ ) durante el embarazo temprano, podrían no representar un factor de riesgo para el aborto espontáneo. (38)

**Gundacker C y cols.**, en 2010, publican un artículo titulado “Perinatal lead and mercury exposure in Austria”, en el cual señalan que los metales pesados como el plomo y el mercurio, con contaminantes ambientales con alto potencial neurotóxico. Su objetivo fue comparar las concentraciones perinatales de plomo y mercurio, así como explorar la asociación entre la exposición al plomo y al mercurio, respecto a la antropometría del recién nacido.

Aplicaron un diseño longitudinal en el que participaron 53 binomios madre-hijo. Se usaron muestras de sangre, pelo, placenta, cordón umbilical, meconio y leche materna.

Sus resultados mostraron que la concentración de plomo y mercurio fue baja. Por ejemplo 25 µg/L de plomo en sangre materna, 13 µg/L de plomo en cordón umbilical, Estas dos concentraciones de plomo se correlacionaron significativamente ( $p = 0.043$ ). Los modelos estadísticos sugieren que el plomo en placenta y en meconio son predictores de la talla al nacer. El plomo en placenta y sangre materna, son predictores del peso al nacer. Los autores concluyen que bajos niveles de exposición al plomo pueden provocar bajo peso del bebe al nacer. ¿Aún es necesario investigar el mecanismo por medio del cual el plomo y el mercurio se transfieren a través de la placenta, y explorar, como es que la exposición prenatal al plomo está relacionada con el crecimiento intrauterino del bebe. (39)

Otros investigadores del departamento de ciencias de la salud ambiental como **Bloom MS y cols.**, recientemente en febrero de 2011 acaban de publicar un artículo en el cual estiman la asociación entre el nivel de metales en sangre y la capacidad de fecundación de mujeres residentes en el estado de Nueva York.

Se dice que la exposición a metales traza, puede afectar la salud reproductiva de las mujeres. Ellos evaluaron la asociación entre concentraciones de metales traza en sangre y la fecundidad femenina. Participaron 99 mujeres no embarazadas que fueron seguidas prospectivamente. Respondieron a una entrevista basal y fueron observadas hasta que quedaron embarazadas o hasta 12 ciclos menstruales. Se usaron pruebas de embarazo caseras. A 80 de las mujeres se les midió el nivel sanguíneo de arsénico, cadmio, plomo, magnesio, níquel, selenio y zinc utilizando espectrofotometría plasma-masa inductivamente acoplada. El tiempo de embarazo fue estimado usando Modelos de Cox. Las concentraciones de los metales se encontraron dentro de los valores de referencia para la población. Los modelos ajustados sugieren que la probabilidad de embarazo se incrementa un 51.5% por cada 3.60 µg/L de incremento en el Mg, y decrece un 27.7% por cada 0.54 µg/L que incrementa en Zn. ( $p = 0.114$ ). Sus resultados indican que el Mg y el Zn

podrían impactar la fecundidad femenina, pero en direcciones opuestas.. No se encontró asociación entre el plomo y la fecundidad femenina. (40)

Finalmente en febrero de 2011 **Wells EM y cols.**, publicaron en su artículo “Low Level Lead Exposure and Elevations in Blood Pressure During Pregnancy”, que la exposición al plomo está asociada con una elevación de la presión sanguínea en mujeres gestantes, pero que sin embargo, la magnitud de la relación a una baja exposición no está clara.

Ellos midieron la presión arterial (sistólica y diastólica) de 285 mujeres durante el trabajo de parto y el nacimiento del bebe. Además midieron edad, raza, ingresos medios, paridad, tabaquismo durante el embarazo, índice de masa corporal antes del embarazo y grado de anemia.

La concentración media del nivel de plomo en el cordón umbilical fue de 0.66  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . (IC 95% 0.61 a 0.70). Cuando compararon las mediciones de presión arterial entre el percentil más alto y el más bajo de los niveles de exposición al plomo, encontraron que la presión sistólica se incrementó 6.87 mm Hg (IC 95% 1.51 a 12.2) y la diastólica se incrementó 4.4 mm Hg (IC 95% 0.21 a 8.59). Se observó que con niveles de exposición  $< 2 \mu\text{g}/\text{dl}$  ya ocurren incrementos en la presión arterial de las mujeres gestantes, por lo tanto se concluye que si existe una asociación significativa entre bajas exposiciones al plomo y la elevación de la presión arterial en mujeres gestantes y además se pueden observar niveles de plomo menores a  $2 \mu\text{g}/\text{dl}$  en la sangre del cordón umbilical de estas mujeres. (41)

# Capítulo III

## Planteamiento del problema y objetivos

**C**omo se observó en la sección de los antecedentes, existen evidencias científicas de tipo observacional y experimental en humanos y en animales que demuestran los efectos nocivos del plomo en la salud, y particularmente, en mujeres gestantes. (14-41)

Estos efectos de la exposición al plomo van desde alteraciones hematológicas hasta alteraciones neurológicas, pasando por defectos en el crecimiento y desarrollo del recién nacido.

El panorama es desfavorable para las mujeres embarazadas o lactantes expuestas crónicamente al plomo, ya que además de la movilización inherente al estado de embarazo o lactancia, la salida del plomo ósea se incrementa al suplementar la dieta con calcio, siendo este un tema de importante para salud pública.

De esta manera, que el conocimiento que pueda ofrecer esta investigación será de gran relevancia para la prevención de afectaciones a la salud en el binomio madre-hijo. Por ejemplo, la mujer gestante que sufre plumbemia tóxica puede ser susceptible a descalcificación ósea y anemia. Estos trastornos afectan directamente al feto ya sea con bajo peso al nacer o con deficiencias en la calidad de su crecimiento y desarrollo intrauterino y postnatal.

Enfermería es una ciencia que se debe apoyar en investigaciones científicas para incrementar la calidad de sus cuidados. La presente investigación puede estar incluida dentro de una línea de investigación que podría denominarse “Fundamentos básicos del cuidado”. Esta tesis pretende incrementar el acervo de conocimientos sobre la causalidad y repercusión de la plumbemia tóxica en mujeres gestantes en México.

En este trabajo, entendemos el papel de la Enfermera como fundamental en la prevención de casos de plumbemia tóxica. La Enfermera es la profesional de la salud que está a cargo del cuidado y la atención a la población que en este caso está representado por el binomio Madre-hijo.

En cuanto a la vigilancia del crecimiento y desarrollo del recién nacido, la participación de la enfermera está encaminada a establecer un monitoreo periódico de los parámetros que le permitan evaluar el estado del binomio madre-hijo y enfocar su intervención en forma específica. Informa a la madre respecto al desarrollo psicomotor y le enseña a identificar los aspectos de maduración neurológica y de factores de riesgo su hijo. Por tal motivo es vital hacer uso de investigaciones como esta para que se cumpla la prioridad de enfermería en aumentar la calidad del cuidado basado en evidencias científicas y metodológicas.

El acelerado crecimiento de la zona metropolitana de la Ciudad de México durante las últimas décadas la ha transformado en una de las mega urbes más importantes en el mundo, donde habita el 20% de la población total del país, se centraliza parte importante de la actividad económica del país y se concentran riesgos diversos entre los que destacan el incremento en los niveles de actividad industrial, política, comercial y contaminación ambiental.

Si bien existen diferentes contaminantes en el suelo, agua y aire, actualmente destaca el plomo, y a que a pesar de que existe la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000, no puede restarse importancia al hecho de que el plomo es un metal que se ha demostrado, provoca daños incluso en niveles bajos de exposición. Las exposiciones al plomo son diversas y cotidianas entre la

población, tal como el uso de loza vidriada, pintura, polvo e infraestructura de casas antiguas, etc, por lo que la exposición al plomo constituye un grave problema de salud pública, ya que afecta a todos los habitantes de la población, provocando en ellos daños a su salud.

Con base en lo anterior, este equipo de investigación se ha planteado las siguientes preguntas de investigación.

### **Preguntas de investigación**

- ¿Cuál es el nivel de plomo en sangre que presentan las mujeres gestantes a término observadas?
- ¿Cuál es la prevalencia de plumbemia tóxica en las mujeres gestantes que participaron en esta investigación?
- ¿El nivel de plomo sanguíneo de las mujeres gestantes participantes en este trabajo es **<10 µg/dl** o superior a este valor criterio que se menciona en la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000?
- ¿Cuál es el nivel de plomo promedio en función del municipio en que habitan las gestantes observadas?
- ¿Qué relación existe entre los niveles de plomo y los valores de la biometría hemática, específicamente hemoglobina, hematocrito, plaquetas y leucocitos en las mujeres de nuestra población blanco?
- A través de la estimación de la razón de momios ¿Qué impacto en el riesgo de plumbemia tóxica en las mujeres gestantes representan el Consumo de tabaco, la Infraestructura hidráulica doméstica y el Uso de loza vidriada para cocinar y comer?

- ¿Cuál es el nivel de plomo promedio en la sangre de las mujeres gestantes, en función de la frecuencia con que dijeron que se exponen al consumo de alimentos utilizando loza vidriada?
- ¿Cuál es el nivel de plomo promedio en la sangre de las mujeres gestantes, en función de la exposición a factores como cocinar y comer en utensilios fabricados con loza vidriada y el consumir alimentos enlatados?
- Finalmente ¿Cuál es la correlación que se presenta entre la plumbemia de la mujer gestante a término y el peso corporal de su recién nacido?

## **Objetivo general**

- Determinar el nivel de plomo en sangre de mujeres gestantes, conocer la prevalencia de plumbemia tóxica y establecer la asociación que tiene el nivel de plomo en sangre con diversas fuentes de exposición así como conocer algunas consecuencias sobre la biometría hemática y el peso del recién nacido.

## **Objetivos específicos**

1. Estimar por medio de espectrofotometría de absorción atómica el nivel de plomo en sangre En mujeres embarazadas y hospitalizadas en una unidad medica de segundo nivel de atención.
2. Calcular la prevalencia de plumbemia tóxica.
3. Estimar el nivel de plomo promedio en sangre en relación al municipio en que habitan las mujeres participantes.
4. Estimar la correlación los niveles de plomo y los valores de los índices de la biometría hemática.
5. Estimar la razón de momios y sus intervalos de confianza al 95% para estimar el impacto en el riesgo de plumbemia tóxica en las mujeres gestantes por el consumo de tabaco, la exposición a la infraestructura hidráulica doméstica y por el uso de loza vidriada con plomo para cocinar, freír y comer.

6. Estimar la relación entre el nivel de plomo en sangre y a frecuencia de consumo de alimentos que fueron preparados en utensilios de Ceramica Vidriada con Plomo CVP
7. Estimarla relación del nivel de plomo promedio en la sangre de las mujeres gestantes, con algunos hábitos alimenticios relacionados con el uso de CVP
8. Estimar la correlación entre el nivel de plomo sanguíneo materno y el peso corporal de su hijo recién nacido.

## Hipótesis de investigación

Ha sido demostrado en otras investigaciones que durante el embarazo la mujer gestante puede movilizar plomo desde el hueso hacia la circulación fetal y esto provocar bajo peso en el recién nacido.

También se sabe que la exposición a la contaminación ambiental, tabaquismo, infraestructura doméstica (pintura y tuberías antiguas), uso de recipientes de CVP y frecuencia de consumo de alimentos cocinados en CVP, puede provocar que las personas tengan niveles de plomo en sangre mayores a 10 µg/dl.

Por todo lo anterior, la hipótesis de investigación de esta tesis consiste en esperar que, ante una elevada exposición a las fuentes antes mencionadas, el nivel de plomo en la sangre de las mujeres gestantes alcanzará en promedio, valores mayores a 10 µl/dl.

Además, esperamos que la prevalencia de plumbemia tóxica (plumbemia >10 µl/dl) será mayor al 22% en las mujeres gestantes que participaron en esta investigación.

# Capítulo IV

## Material y métodos

**E** Sta investigación estuvo basada en la aplicación de un diseño observacional de tipo transversal y con alcance explicativo cuyo diagrama se muestra a continuación:



Este diagrama fue tomado según sugerencia establecida en “Diseños en investigación y estadística aplicada”. (42) En donde:

G1 : Muestra de 120 mujeres gestantes.

O1: Aplicación del instrumento de medición que incluye a todas las variables consideradas para esta tesis. Véase cuadro de definición operacional de variables.

>> Al aplicar el instrumento, esto nos conducirá a conocer la correlación y asociación entre las variables de interés.

#### X1: Variables de exposición

- Lugar de residencia (municipio)
- Tabaquismo
- Infraestructura doméstica
- Recipientes
- Loza vidriada
- Frecuencia de consumo de alimentos en loza vidriada
- Cocinar, comer en loza vidriada
- 

#### Y1: Variables de efecto

- Nivel de plomo en sangre
- Plombemia tóxica
- Indicadores de la Biometría Hemática
  - Hemoglobina
  - Hematocrito
  - Leucocitos
  - Plaquetas
- 
- Peso del recién nacido
- 

#### **Población objetivo**

En esta investigación se incluyen intencionalmente mujeres gestantes a término que fueron usuarias de servicios de salud y que estuvieron hospitalizadas en una

unidad médica del segundo nivel de atención, ubicada en el municipio de Tlalnepantla, Estado de México.

**Ubicación espacio temporal.**

Servicio de Ginecología y Obstetricia de un Hospital Público del segundo nivel de atención ubicado en el Municipio de Tlalnepantla de Baz en el Estado de México.

El período de observación será durante los meses de marzo y abril de 2010.



Figura 10. Hospital General de Tlalnepantla. Instituto de salud del Estado de México.

**Muestra**

El tamaño muestral se determinó a partir de una población de aproximadamente 300 usuarias que son hospitalizadas en un periodo de dos meses. De acuerdo con

nuestro interés, se fijo un 7% de error, 95% de confianza y 50% de probabilidad de selección, se determina un tamaño muestral de 120 mujeres gestantes.

Se utilizó el software STAT versión 2.0 para asegurar la confiabilidad del cálculo.

La selección de las 120 mujeres que constituyeron a la muestra fue no probabilística. El criterio que se utilizó fue que estuvieran internadas en el servicio de Gineco-Obstetricia en las guardias nocturnas de los martes, jueves y sábado de cada semana por facilidades logisticas.



Figura 11. Mujer gestante hospitalizada en el Hospital General de Tlalnepantla. Todas las participantes recibieron suficiente información acerca de los propósitos de la investigación y de la manera en que ellas participarían. (Consentimiento informado)

### **Criterios de inclusión**

- Mujeres gestantes ingresadas a través del servicio de urgencias de ginecología y obstetricia.

- Mujeres gestantes internadas en el servicio de Ginecología y Obstetricia durante los meses de abril y mayo de 2010 en las guardias nocturnas de los días martes, jueves y sábado.
- Mujeres que se encuentren en trabajo de parto, en el Hospital General “Valle Ceylán”.
- Mujeres que acepten participar con previa autorización en el formato de consentimiento informado.

### **Criterios de exclusión**

- Mujeres que presenten alguna discapacidad que no les permita responder adecuadamente, como trastornos de pensamiento o sordomudez
- Cuando no se encuentre la muestra de sangre de las participantes o la muestra se halla coagulado y por ello se impida su correcto procesamiento.
- Cédulas con datos incompletos.

### **Procedimientos.**

#### **Nivel de plomo en sangre.**

Se utilizaron las muestras de sangre que por rutina se les solicitan a todas las mujeres gestantes en el Hospital general de Tlalnepantla. Las muestras incluyeron tubo para biometría áhemática, tiempos de coagulación y química sanguínea.

En el laboratorio de análisis clínicos del hospital, a partir de las muestras de biometría áhemática, se procedió a obtener 1000  $\mu$ L para almacenar en tubos Eppendorf de plástico y posteriormente ser enviadas al departamento de Química

Analítica de la FES Cuautitlán campo 1, en donde se realizó la determinación de plomo en sangre por medio de espectrometría de absorción atómica.

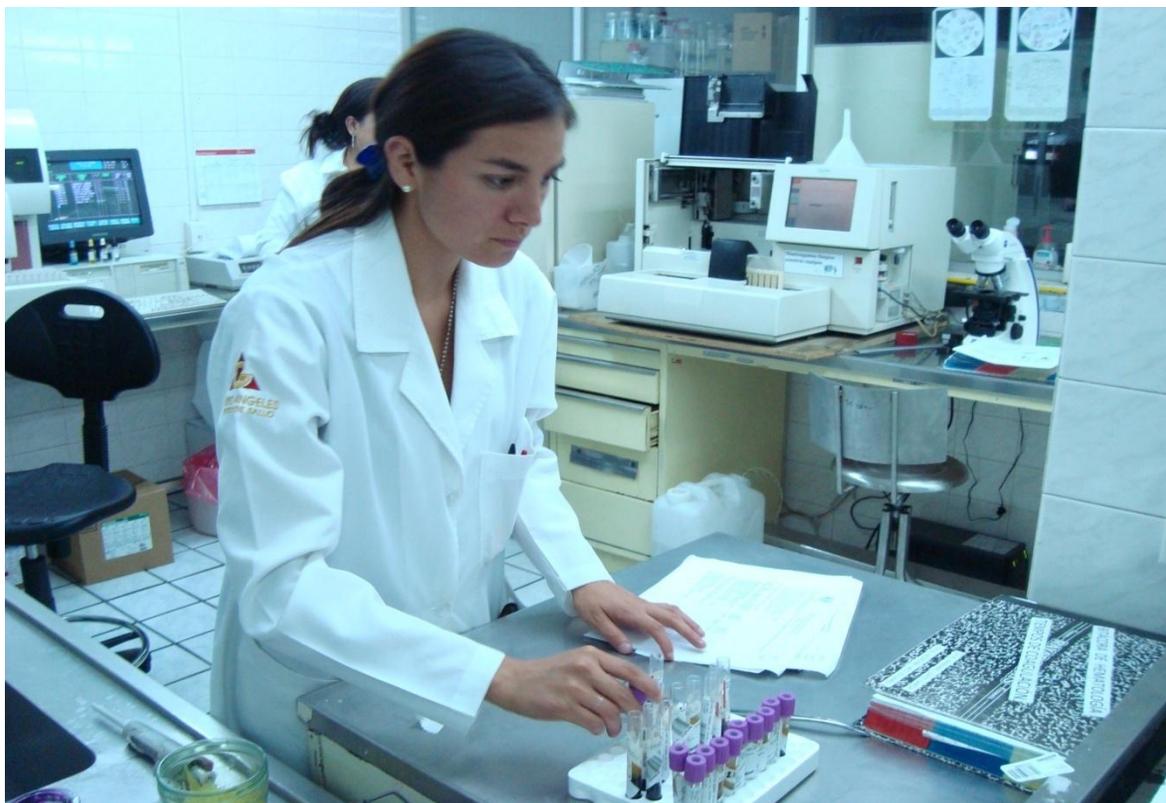


Figura 12. Organización de las muestras de sangre para realizar las biometrías hemáticas y las determinaciones de plomo.

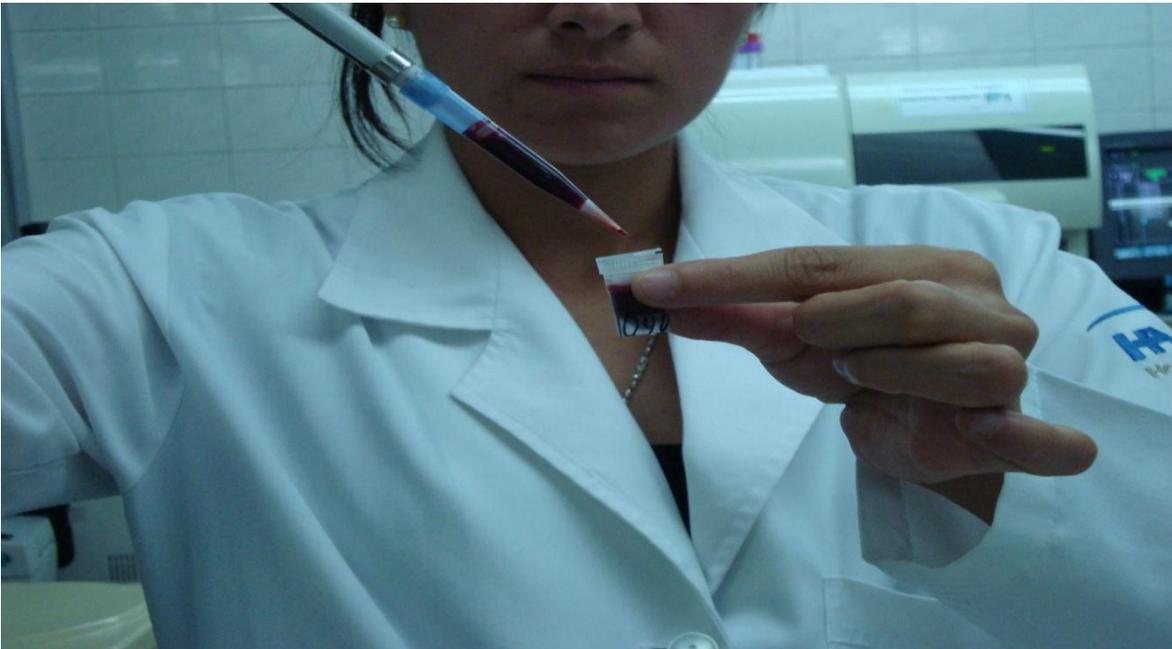


Figura 13. Muestra de sangre total para la determinación de plomo.



Figura 14. Procesamiento de la química sanguínea de las pacientes utilizando técnicas automatizadas en el equipo *Dimension RxL max*, SIEMENS.

### **Biometría hemática**

A partir de la muestra con anticoagulante EDTA, se procedió a realizar la biometría hemática utilizando el equipo *Cell Dyn - 3700*. Se determinó la hemoglobina, hematocrito, leucocitos y plaquetas.

Los datos fueron capturados en una base de datos elaborada en Excel y procesados tanto en el mismo Excel como en el programa SPSS versión 15.



Figura 15. Realización de las biometrías hemáticas en el laboratorio de análisis clínicos. Aquí se muestra el *Cell-Dyn-3700*, equipo en el cual la tesista procesó las biometría hemáticas de las mujeres gestantes que participaron en el estudio.

## Consideraciones éticas

El protocolo de investigación fue informado a las autoridades del hospital correspondientes las cuales aprobaron y autorizaron su ejecución. Por lo anterior, la tesista pudo entrevistar a las mujeres participantes, consultar el expediente clínico y disponer de las muestras de sangre que se enviaron al laboratorio de análisis clínicos del nosocomio.

Las participantes autorizaron su participación mediante consentimiento informado y recibieron la siguiente información:

- 1.- Beneficios que aporta su participación.
- 2.- Descripción de los procedimientos que se emplearán en el estudio, tales como: Entrevista y disposición de su muestra de sangre que se encontraba en el laboratorio y revisión del peso del recién nacido en su expediente clínico.

*La participante óleyó el siguiente enunciado:*

*Acepto ser entrevistada y sé que tengo derecho a:*

- 1.- Conocer los resultados obtenidos al terminar la investigación.*
- 2.- Que se respete mi integridad física y moral.*
- 3.- Que sea confidencial el manejo de la información recabada.*
- 4.- Retirarme del estudio en el momento que lo desee.*

## Definición operacional de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición
<b>Plombemia</b>	<p>Nivel de plomo en sangre es el valor de la concentración de plomo en sangre venosa expresada en microgramos por decilitro (<math>\mu\text{g}/\text{dl}</math>)</p> <p>El valor criterio para la concentración de plomo en sangre en niños, mujeres embarazadas y en periodo de lactancia es de <math>10 \mu\text{g}/\text{dl}</math> (28)</p> <p>Un nivel mayor al antes mencionado, se considera plumbemia tóxica.</p>	<p>Los niveles de plomo en sangre se midieron mediante espectrofotometría de absorción atómica utilizando una muestra de <math>500 \mu\text{L}</math> de sangre total.</p> <p>Un sujeto caso es aquel que tiene un nivel de plomo <math>&gt; 10 \mu\text{g}/\text{dl}</math>.</p> <p>Se tomó como punto de referencia el nivel propuesto en la NOM-199-SSA1-2000.</p>	Razón
<b>Hemoglobina</b>	<p>En términos operativos, se considera el valor para la concentración de hemoglobina en sangre en mujeres embarazadas expresado en <math>\text{g}/\text{dl}</math>, el valor del hematocrito expresado en</p>	<p>La biometría hemática se realizó mediante un sistema automatizado en el equipo denominado Cell-Dyn-3700.</p> <p>Solo se incluyeron en este estudio</p>	Razón

	<p>porcentaje y el valor de la cantidad de leucocitos, eritrocitos y plaquetas en un milímetro cúbico de sangre.</p>	<p>el nivel de hemoglobina y hematocrito, así como la cuenta leucocitaria y de plaquetas</p>	
<p><b>Exposición a fuentes contaminantes de plomo</b></p>	<p>Fuente de exposición, al utensilio, medio o establecimiento que pueda contaminar con plomo el ambiente o los alimentos.(28)</p> <p>Es la frecuencia, medida a través de una escala de likert, con la que un sujeto se expone a alguna de las fuentes contaminantes de plomo consideradas en el instrumento, como lo es el uso de utensilios de barro o pintados con pintura a base de plomo, alimentos enlatados, infraestructura doméstica con antigüedad mayor a 15 años (instalación hidráulica a base de fierro, pintura de la casa a base de plomo. Finalmente se mide si se está o no viviendo cerca de una gasolinera o de contaminación ambiental grave.</p>	<p>Se aplicó un cuestionario para conocer si se exponían o no y con que frecuencia a las siguientes fuentes:</p> <p>Lugar de residencia, tabaquismo, infraestructura doméstica, recipientes de CVP, alimentos enlatados, si cocina, frie o come alimentos en CVP.</p>	<p>Nominal y ordinal</p>
<p><b>Peso corporal</b></p>	<p>Es el primer peso de un recién nacido, tomado en el transcurso de los primeros 60 minutos o</p>	<p>Se tomó el peso del bebé del expediente clínico.</p>	<p>Razón</p>

<b>del recién nacido</b>	en las primeras 24 horas.		

## **Plan de análisis estadístico**

### **Estadística descriptiva**

Se realizaron gráficos donde se expresaron medidas de tendencia central (media, mediana) y de variabilidad (desviación estándar y rangos) para las variables medidas en escala de razón.

Se realizaron gráficos de pastel para expresar la prevalencia.

Se realizaron histogramas de frecuencias para expresar las proporciones de algunas variables medidas en escala nominal y ordinal.

Se elaboraron gráficas de correlación XY para variables medidas en escala de razón.

Los conjuntos de datos obtenidos fueron procesados para establecer diferencias significativas entre medias aritméticas o significancia estadística en correlaciones de variables medidas en escala de razón y asociaciones de variables nominales. En todos los casos se consideró  $\alpha = 0.05$  como punto de corte para considerar o no significancia estadística.

Se utilizó la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para demostrar la normalidad de los datos obtenidos en las variables Nivel de plomo en sangre, Hemoglobina, Hematocrito, Plaquetas y Peso del recién nacido, todas medidas en escala de razón.

Se utilizó la prueba "t" de Student para muestras independientes cuando se compararon medias aritméticas, previa verificación de la igualdad o no de la varianza a través de una prueba F. La prueba "t" de Student se utilizó para comparar la media aritmética del nivel de plomo en las mujeres que cocinaban o no en loza vidriada, comían o no en loza vidriada y comían o no alimentos enlatados.

Cuando se tuvieron más de dos medias a comparar de una variable que se había demostrado que tenía distribución normal, se utilizó la prueba ANOVA. Este fue el caso de las medias aritméticas de los niveles de plomo por municipio y de los niveles de plomo cuando el consumo de alimentos en Cerámica Vidriada con Plomo (CVP) era Nunca, raramente o frecuentemente.

También se realizaron correlaciones entre variables medidas en escala de razón como lo fueron nivel de plomo en sangre, Hemoglobina, Hematocrito y Plaquetas en sangre total. Como todas estas variables tenían distribución normal se utilizó el Coeficiente de correlación de Pearson y se determinó también la significancia estadística de la correlación.

Por último, se buscó conocer la significancia estadística de asociaciones de variables nominales, como lo fueron exposición o no al tabaquismo, infraestructura doméstica antigua y uso de recipientes para preparar los alimentos fabricados con CVP, así como la variable plumbemia presente o ausente.

Dichas asociaciones se determinaron con la prueba  $\chi^2$  y la Razón de momios con sus intervalos de confianza al 95%. Cabe mencionar que en algunas ocasiones se presentaron menos de 5 casos en alguna de las casillas de las tablas de contingencia utilizadas para los cálculos de asociación, y en virtud de ello, se decidió utilizar la Prueba exacta de Fisher para ajustar el cálculo de la asociación cuando se presentara esta condición específica.

# Capítulo V

## Resultados

**A** continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico, derivados de la aplicación del instrumento de valoración, cuyas preguntas se orientaron a la búsqueda de fuentes de exposición que representaran un riesgo de aumentar los niveles de plomo en sangre en mujeres embarazadas.

Como ya se mencionó, muestras de sangre total sirvieron para conocer el nivel de plomo en las mujeres y también los índices hematológicos de la biometría hemática.

### **Análisis por percentiles de la edad de las gestantes**

En la gráfica 1 se observa un análisis de la edad de las participantes en esta investigación utilizando como criterio la distribución por percentiles, dado que se trató de una variable que mostró una distribución no paramétrica, se representó a la edad por medio de un gráfico tipo box plot.

Se puede apreciar como el rango de edad de las madres va de los 15 a los 38 años, y que la mediana se ubica en los 23 años. Se observa también que el 50% de las mujeres gestantes se ubican dentro del rango de los 20 a los 28 años.

En general, se trata de una muestra de mujeres jóvenes en edad y madurez reproductiva. Todas ellas fueron pacientes del hospital General de Tlalnepantla que acudieron a recibir atención médica por embarazo a término. Para ello, ingresaron a través del servicio de urgencias del nosocomio. Una vez aceptadas fueron ingresadas para la realización del trabajo de parto en la unidad úteroquirúrgica. Después de un tiempo razonable en el servicio de recuperación, fueron llevadas a su cama en el servicio de Ginecología y Obstetricia en donde, ya recuperadas y conscientes, se les realizó la entrevista sobre su exposición a fuentes contaminadas con plomo.



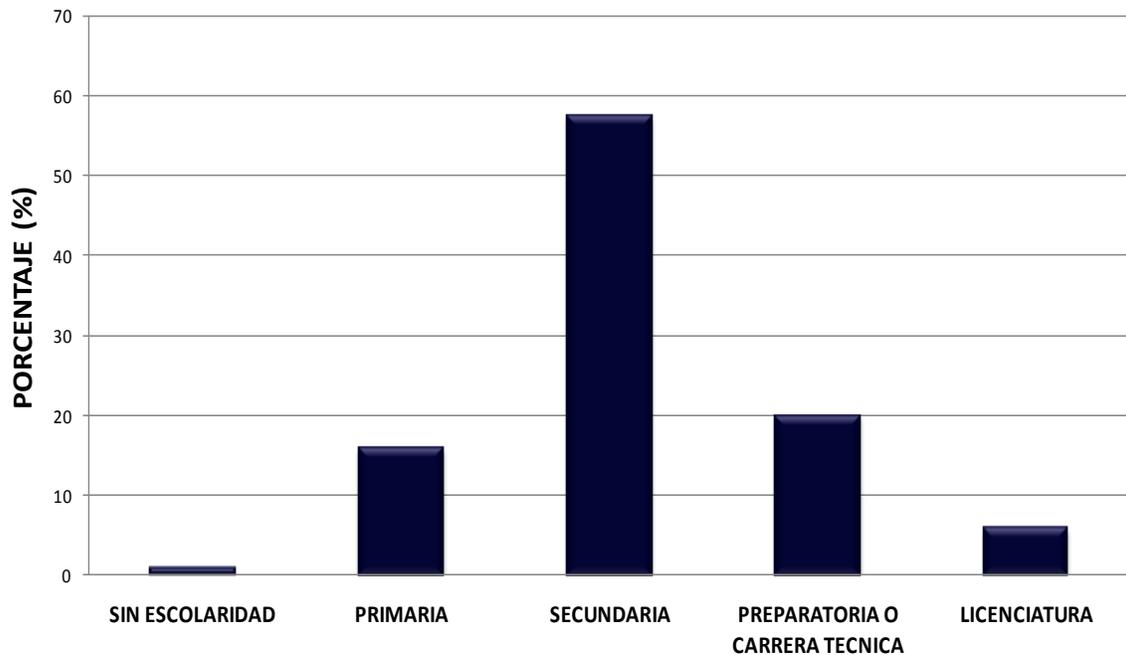
**Gráfica 1.** Distribución de la variable edad de las mujeres gestantes del servicio de Gineco Obstetricia del Hospital General de Tlalnepantla, Edo. Mexico. La mediana fue de 23 años. Rango (15 a 38 años) Periodo Febrero- Mayo, 2010. ( $n=120$ )

### **Escolaridad de las mujeres gestantes**

En la gráfica 2 se observa la escolaridad de las gestantes estudiadas. La mayoría de ellas (58%) tienen nivel secundaria, el 20% nivel preparatoria y el 16% solo primaria.

Destaca el hecho de que solo el 1% carece de educación formal, lo que nos indica que en general, se trata de una muestra con nivel educativo regular.

El 6 % tuvo nivel de estudios superior.

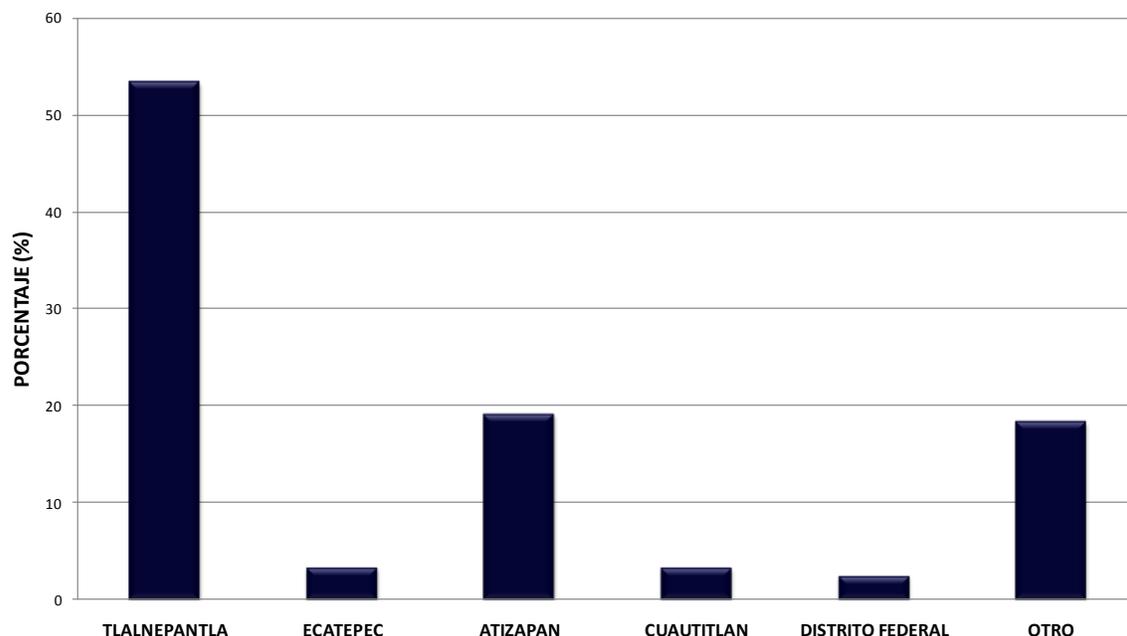


**Gráfica 2.** Nivel de escolaridad de las gestantes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalnepantla, Edo. México. La mayoría tiene nivel secundaria. Periodo Febrero- Mayo, 2010. ( $n=120$ )

### Densidad poblacional por municipios

La gráfica 3 muestra la distribución de las mujeres que habitan en el Distrito Federal y municipios conurbados del Estado de México. En sentido general, se observa que la mayor proporción de población de las gestantes residen en el municipio de Tlalnepantla (53 %), el 19 % reside en Atizapan, el 3% en Cuautitlan y también el 3% en Ecatepec. Solo el 2.5% perteneció al Distrito Federal, por lo que este último dato es interesante de destacar debido a que la tendencia de los

niveles de plomo en la atmósfera de la zona metropolitana de la Ciudad de México ha disminuido considerablemente. Los niveles de plomo fueron elevados en el año de 1988, pues se registraron niveles promedio de 1.95 mg/m<sup>3</sup> que bajaron a 0.28 mg/m<sup>3</sup> en 1994. Lo anterior se ha asociado con el descenso en los niveles de plomo en sangre en diversos estudios en la población general.



**Gráfica 3.** Proporción de la densidad poblacional de las mujeres gestantes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalnepantla, Edo. Méx. Periodo Febrero- Mayo, 2010. (n=120)

### Nivel de plomo en mujeres gestantes

La gráfica 4 representa la concentración de plomo en sangre promedio de las mujeres embarazadas. Cabe destacar que las determinaciones de plomo en sangre son confiables ya que se realizaron a través del espectrofotómetro de absorción atómica el cual requiere de curva de calibración y por lo tanto de la inclusión de estándares de referencia.

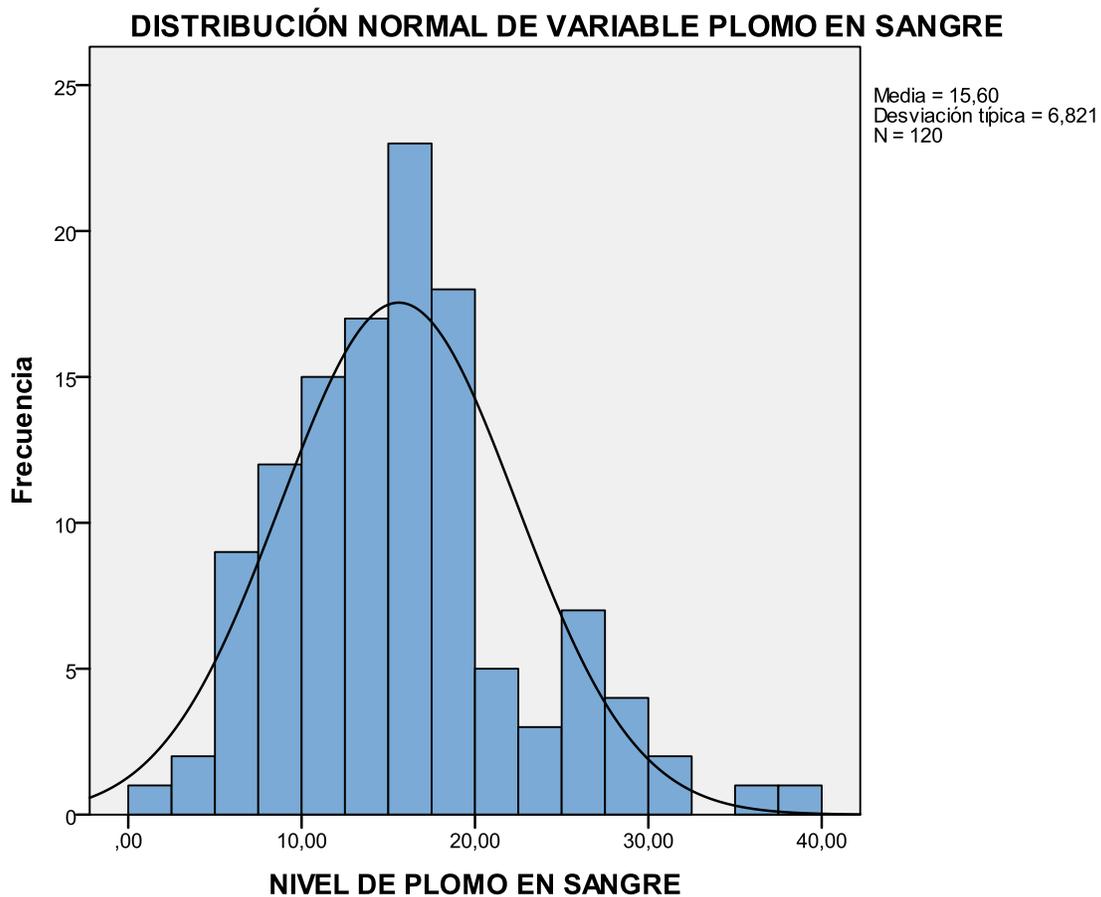
La recolección y manejo de las muestras de sangre son factores importantes que se deben controlar. La muestra se recolectó adecuadamente por punción venosa en lugar libre de la exposición y con las condiciones adecuadas para evitar la contaminación de la misma. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de análisis íclínicos del nosocomio para su procesamiento, separación y envío a la FES áCuautitlán.

La concentración promedio de plomo en sangre de las mujeres gestantes estudiadas fue de  $15.60 \pm 6.82 \mu\text{g/dl}$ . La variación del nivel de plomo a una desviación estándar, fue de  $6.82 \mu\text{g/dl}$ , lo que quiere decir que el 68% de las mujeres gestantes participantes se encuentran dentro de un rango que va desde 8.78 hasta  $22.4 \mu\text{g/dl}$  de plomo en la sangre.

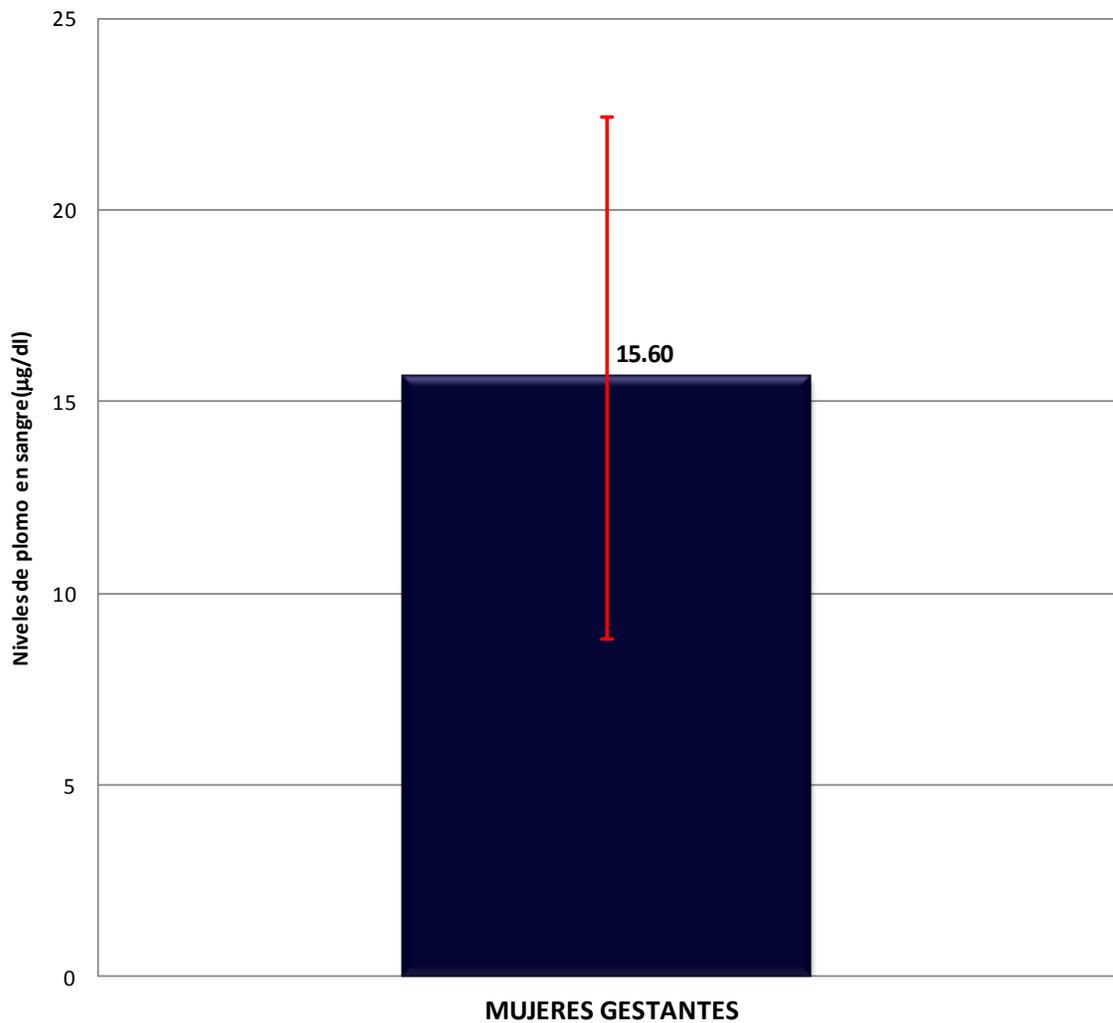
Las gestantes del presente estudio se encuentran con niveles considerablemente elevados en relación al valor criterio establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000.

Con el fin de apreciar con mayor detalle el comportamiento de la variable "Nivel de plomo", se realizó también una descripción por percentiles. Como se observa en la gráfica 5, poco más del 75% de las mujeres presentan un nivel de plomo mayor al sugerido por la Normatividad mexicana. Aproximadamente solo un poco menos del 25% de las participantes se presentan un nivel de plomo menor a los  $10 \mu\text{g/dl}$ .

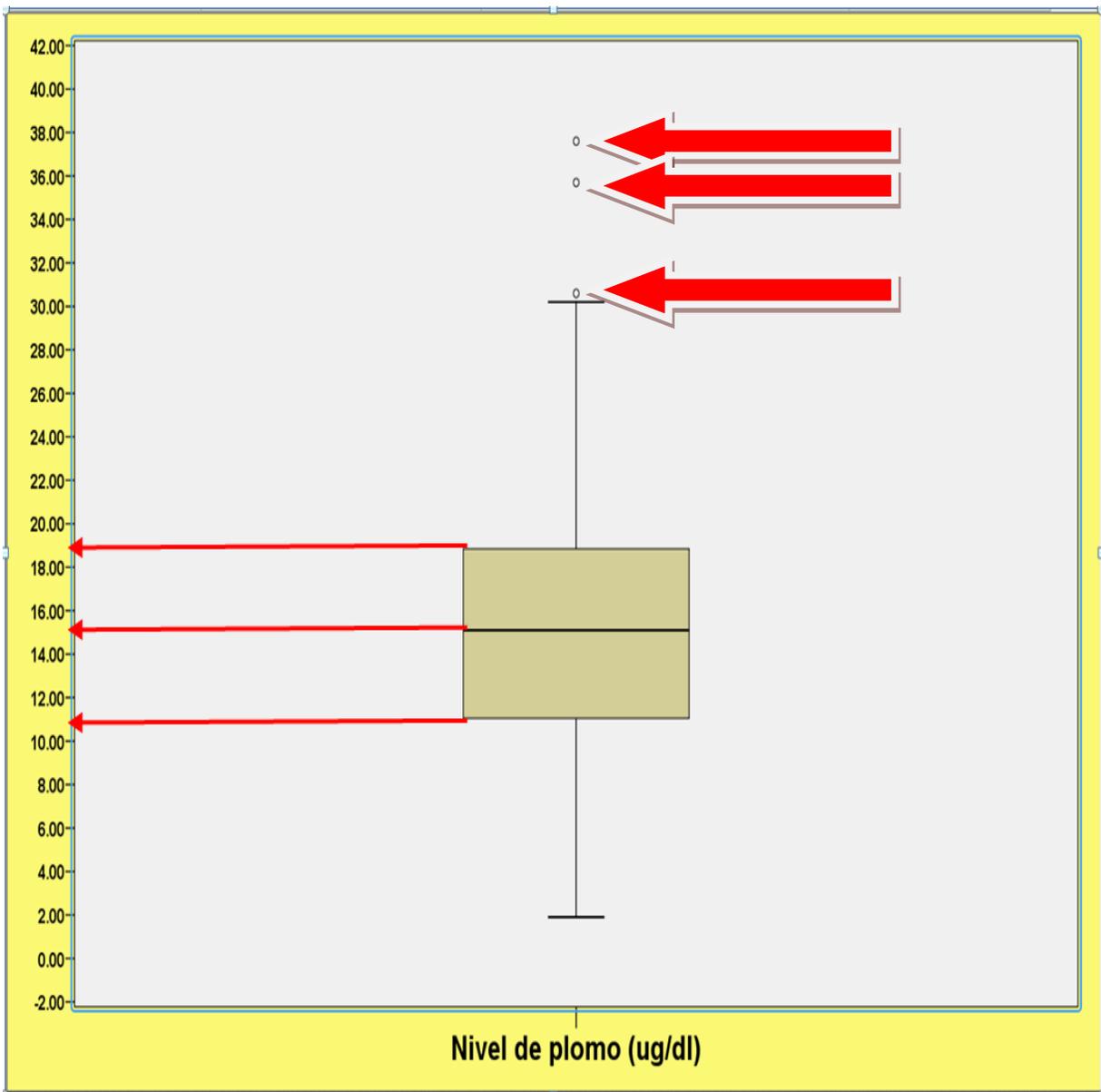
De hecho, el rango abarca desde 1.9 hasta  $37.6 \mu\text{g/dl}$ , con una mediana de  $15.1 \mu\text{g/dl}$ . Nótese que en el conjunto de datos sobre nivel de plomo, existen 3 casos con valores de exposición sumamente elevados y que corresponden a las mujeres que presentaron 30.6, 35.7 y  $37.6 \mu\text{g/dl}$ .



**Gráfica 4.** Tipo de distribución de los datos obtenidos en la variable **nivel de plomo** en sangre de las mujeres gestantes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalnepan, Edo. Méx. Esta variable presentó distribución normal de acuerdo con la prueba K-S ( $p=0.095$ ) Periodo Febrero- Mayo, 2010. ( $n=120$ )



**Gráfica 4.** Nivel de plomo en sangre ( $15.6 \pm 6.8 \mu\text{g/dl}$ ) de las mujeres gestantes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalnepantla, Edo. Méx. Esta variable presentó distribución normal de acuerdo con la prueba K-S ( $p=0.095$ ) Periodo Febrero- Mayo, 2010. ( $n=120$ )

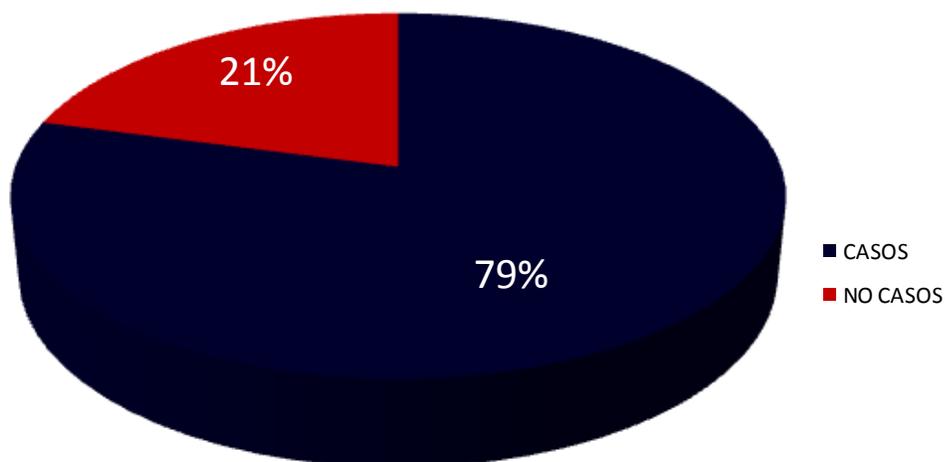


Gráfica 5. Descripción de los niveles de plomo en la sangre de las mujeres gestantes por medio de percentiles. Mediana = 15.1  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . Observe en la parte superior del gráfico, casos de plumbemia tóxica graves. (30.6, 35.7 y 37.6  $\mu\text{g}/\text{dl}$ .) Periodo Febrero- Mayo, 2010. ( $n=120$ )

## Prevalencia de plombemia tóxica en mujeres gestantes

La gráfica 6 representa la proporción de casos de plombemia de las mujeres gestantes encuestadas donde el 79% resultó ser caso positivo de niveles elevados de plomo en sangre teniendo como criterio la NOM. 199 (Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente) el conjunto total de casos es el equivalente a decir que, 95 mujeres de 120, tuvieron niveles de sangre mayores a los  $10\mu\text{g}/\text{dl}$ . Esta prevalencia es extremadamente elevada, por lo que queda demostrado, que se ha subestimado el problema de la intoxicación crónica por plomo.

### PREVALENCIA DE PLOMBEMIA EN LA POBLACIÓN OBJETIVO



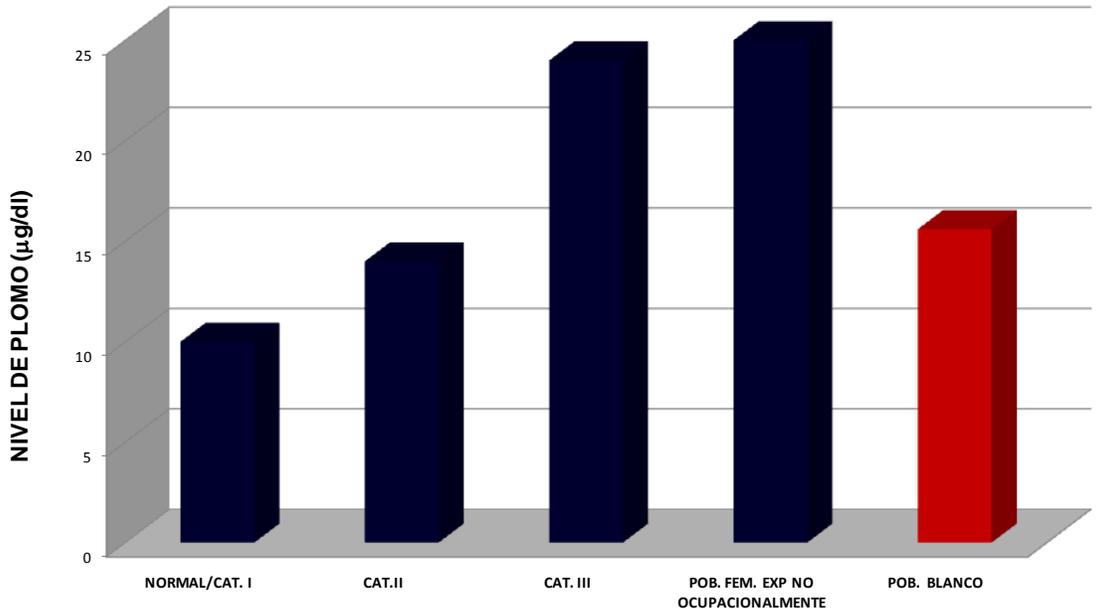
**Gráfica 6.** Proporción de casos de plombemia tóxica (> 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) de las mujeres gestantes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalneptantla, Edo. México. Periodo Febrero- Mayo, 2010. ( $n=120$ )

## **Comparación de niveles de plomo en sangre (NOM-199-SSA1-2000)**

En la gráfica 7 se observa la comparación entre el promedio de los niveles de plomo en sangre de la muestra estudiada, contra los valores criterios propuestos por la NOM-199-SSA1-2000. (*Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente*) para la concentración de plomo en sangre en mujeres embarazadas, considerando las siguientes categorías: Cat. I ( $<10\mu\text{g/dl}$ ), Cat. II ( $10\text{-}14\mu\text{g/dl}$ ), Cat. III ( $15\text{-}24\mu\text{g/dl}$ ) y el valor criterio para la población femenina expuesta no ocupacionalmente ( $25\mu\text{g/dl}$ ). Los niveles de plomo en sangre de las mujeres gestantes que participaron en esta tesis, presentaron  $5.6\mu\text{g/dl}$  mas respecto al valor crítico permisible en mujeres embarazadas (normal) e incluso siendo mayor que la categoría II, cifras que probablemente representan una alarma urgente de prevención.

Esto representa sin duda que la exposición crónica a fuentes contaminantes es habitual. Los servicios de salud ordinarios, al no contar con espectrofotómetro de absorción atómica, dejan de lado la medición del nivel de plomo en las mujeres embarazadas como es demostrado en esta gráfica, en la cual, se señala en color rojo el nivel promedio de la muestra observada.

### COMPARACIÓN DE NIVELES DE PLOMO EN SANGRE (NOM. 199-SSA1-2000)



**Gráfica 7.** Niveles de plomo en sangre de las mujeres gestantes, en comparación con los niveles máximos de algunas categorías mencionadas en la NOM-199-SSA1-2000. Periodo Febrero-Mayo. *n*=120.

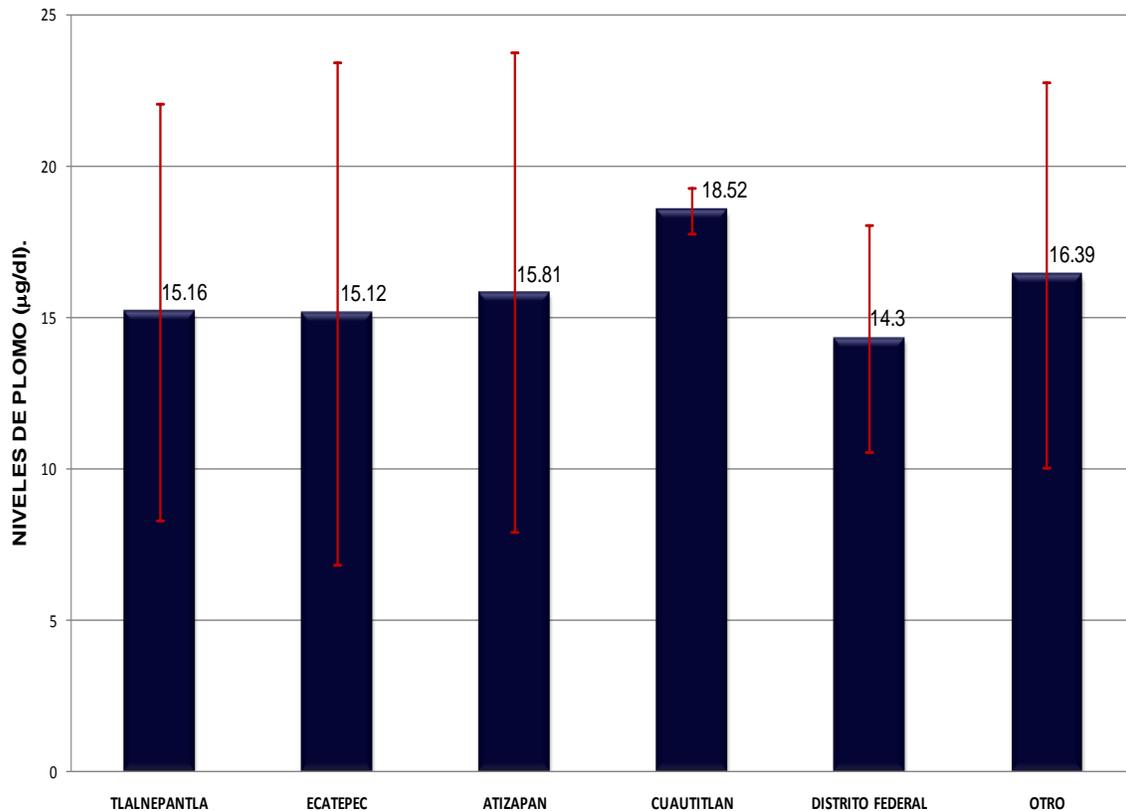
## Niveles de plomo en residentes de municipios conurbados al Distrito Federal

La gráfica 8 representa las concentraciones de plomo en sangre materna por lugar de residencia donde se observa que el mayor promedio de plumbemia fue el obtenido por las mujeres que habitan en el municipio de Cuautitlán con un nivel de plomo de  $18.52 \pm 0.76 \mu\text{g/dl}$ , seguido el municipio de Atizapan con  $15.8 \mu\text{g/dl}$  y otros municipios con  $16.3 \mu\text{g/dl}$ , Tlalnepantla y Ecatepec con  $15.1 \mu\text{g/dl}$  y finalmente el Distrito Federal con  $14.3 \mu\text{g/dl}$ .

El análisis estadístico para observar si hubo diferencias significativas entre los niveles de plomo en sangre de las mujeres embarazadas respecto al municipio donde residen, (prueba ANOVA) reveló que no existe diferencias significativas entre los municipios ( $p = 0.924$ ), por lo que es importante destacar que, como las cifras de las muestras no son significativamente diferentes, el nivel de exposición es uniforme. Cabe destacar que, sin embargo, ninguna de las submuestras por lugar de residencia, obtuvo niveles de plomo en sangre menores a los  $10\mu\text{g/dl}$ .

El D.F. por años ha tenido fama de que es una de las ciudades más contaminadas en el mundo, pero, respecto a la exposición de fuentes de plomo, se encuentra en un mismo nivel que incluso municipios del Estado de México tan lejanos como Tultepec, Hueheutoca o Zumpango, regiones en donde hasta hace 15 años se consideraba provincia mexicana.

## NIVELES DE PLOMO EN LA POBLACIÓN RESIDENTE DE MUNICIPIOS CONURBADOS AL DISTRITO FEDERAL



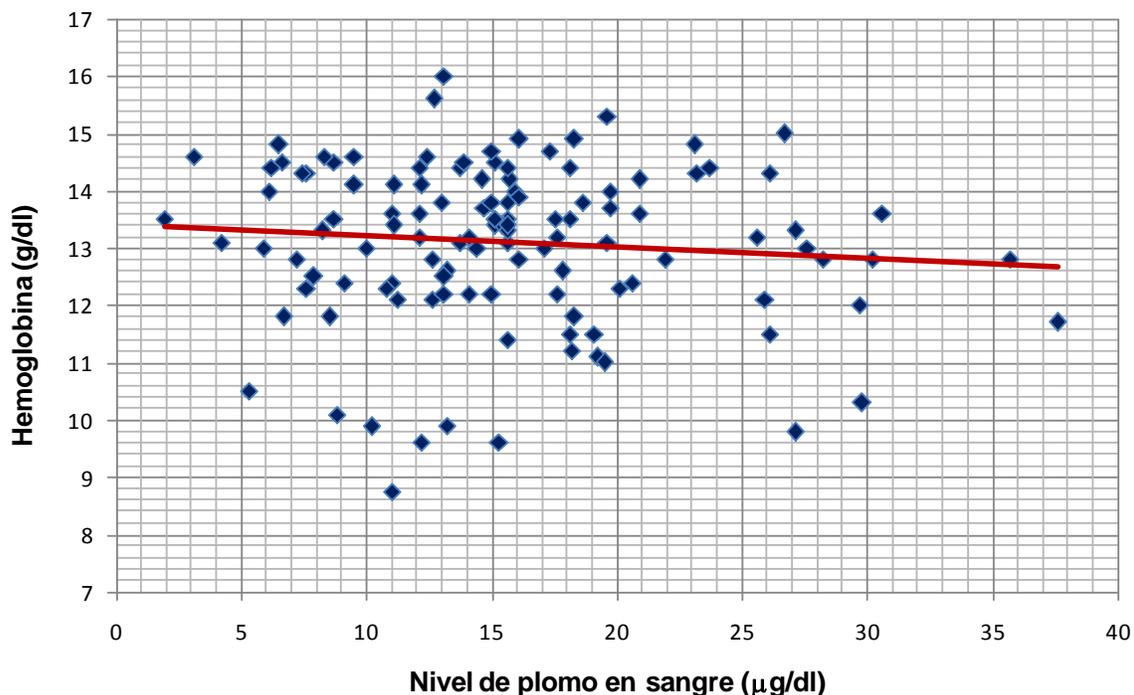
**Gráfica 8. Medias aritméticas  $\pm$  DS de los niveles de plomo en sangre de las gestantes según el lugar de residencia. Cuautitlan fue el municipio de residencia en el cual se observó el mayor nivel de plomo en sangre de mujeres gestantes. Periodo Febrero-Mayo, 2010.  $n=120$ . (ANOVA,  $p = 0.924$ )**

## Relación plombemia vs hemoglobina

Cuando correlacionamos el nivel de plomo y la hemoglobina, observamos una correlación negativa y estadísticamente no fue significativa.

Dado que la distribución de los datos es paramétrica se aplicó el coeficiente de Pearson. Se observó que a mayor nivel de plomo menor nivel de hemoglobina, sin embargo, la tendencia de dicha relación no es significativa. ( $r = -0.097$ ;  $p = 0.294$ ). Como se observa en esta gráfica, aún las mujeres con nivel normal de hemoglobina, presentaban altos niveles de plomo ( $> 10 \mu\text{g/dl}$ )

La tendencia de la correlación señala que las mujeres con anemia no necesariamente tuvieron plumbemia tóxica.



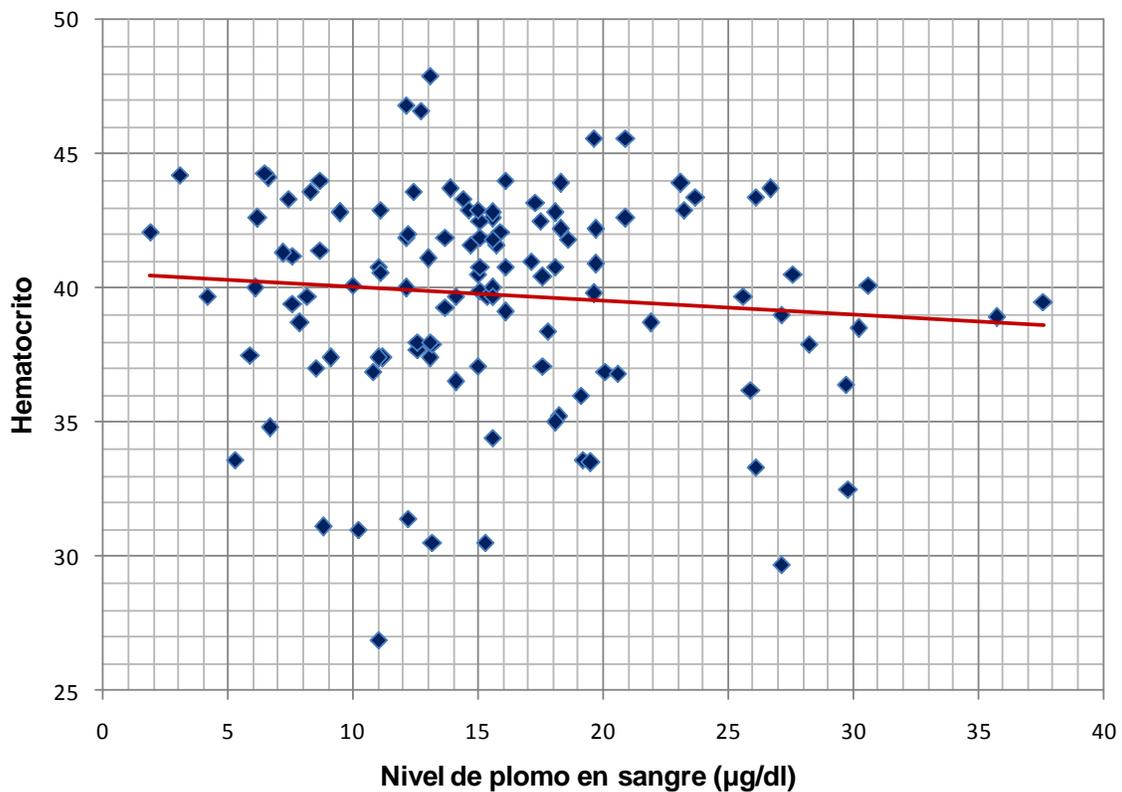
**Gráfica 9.** Correlación negativa entre el nivel de plomo en sangre y la hemoglobina de las gestantes. Encuesta aplicada a pacientes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalnepantla, Edo. Méx.

Periodo Febrero-Mayo 2010  $n=120$ . ( $r = -0.097$ ;  $p = 0.294$ ).

## Relación plombemia vs hematocrito

Otro índice hematológico que se observó fue el valor del hematocrito. Como sabemos, existe una muy estrecha relación entre hemoglobina y hematocrito, por lo que se esperaba una correlación con la plombemia similar a la observada en la gráfica 9.

Efectivamente, como se observa en la gráfica 10 la correlación entre los niveles de plomo en sangre de las mujeres encuestadas y el hematocrito, también fue negativa y sin significancia estadística. ( $r = -0.093$ ;  $p = 0.312$ ) como ocurrió con la hemoglobina.

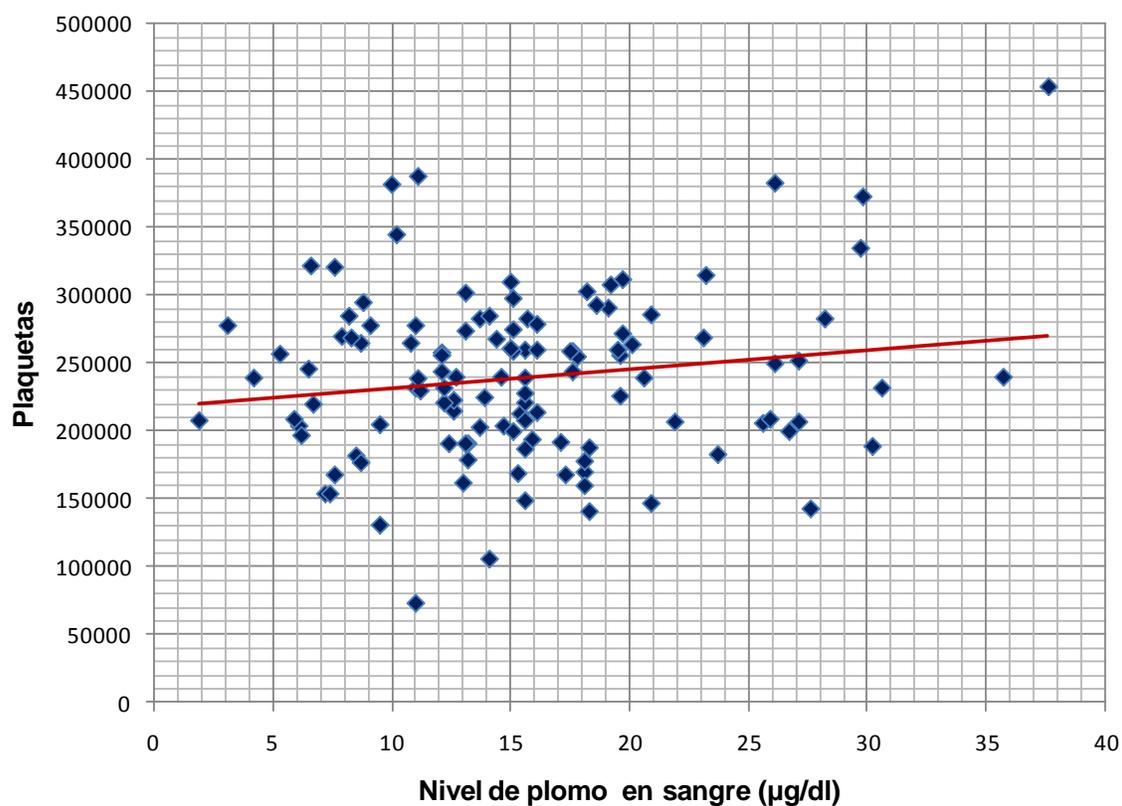


**Gráfica 10.** Correlación entre el nivel de plomo en sangre y la hematocrito de las gestantes. Encuesta aplicada a pacientes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalnepantla, Edo. Méx. Periodo Febrero-Mayo 2010  $n=120$ . ( $r = -0.093$ ;  $p = 0.312$ )

### **Relación de plomo vs plaquetas**

En la grafica 11 se muestra la correlación entre los niveles de plomo en sangre de las mujeres gestantes y su numero de plaquetas. La correlación fue positiva y sin significancia estadística ( $r = 0.161$ ;  $p = 0.079$ ), pero llama la atención que la correlación fue mas fuerte que con la hemoglobina y el hematocrito.

También vale la pena señalar que los conteos de plaquetas, en general, estuvieron dentro de valores considerados como normales (150 000 a 350 000)



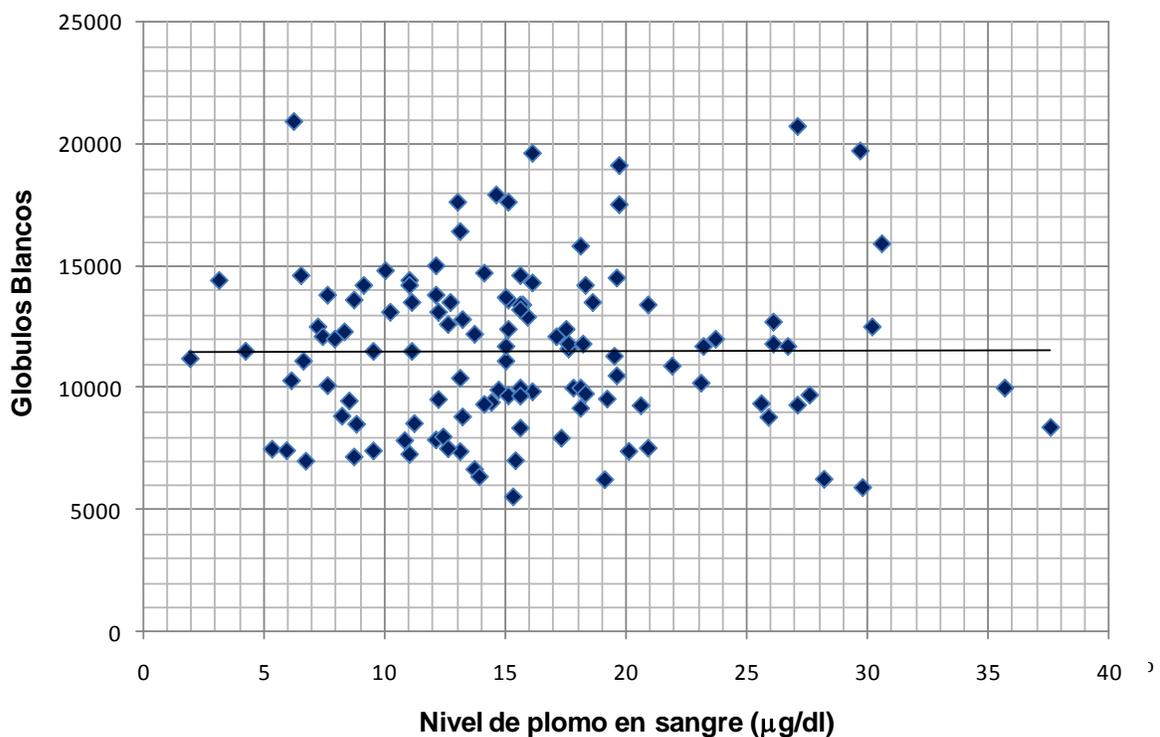
**Gráfica 11.** Correlación entre el nivel de plomo en sangre y el número de plaquetas de las gestantes. Encuesta aplicada a pacientes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalnepantla, Edo. México. Periodo Febrero-Mayo 2010.  $n=120$ . ( $r = 0.161$ ;  $p = 0.079$ )

## Relación de plomo vs glóbulos blancos

La gráfica 12 muestra la correlación entre las variables nivel de plomo en sangre y la cuenta de leucocitos.

En esta gráfica se observa que la correlación es prácticamente nula entre las dos variables. ( $r = 0.033$ ;  $p = 0.977$ ).

En la tabla 1 se puede apreciar un análisis por percentiles de los resultados obtenidos de los índices hematológicos. Solo llama la atención el rango de los leucocitos el cual puede considerarse que es normal durante el embarazo, ya que en condiciones de no embarazo, el rango normal es de 5000 a 10000 leucocitos /mm<sup>3</sup>, y en las mujeres participantes fue de 9290 a 13500.



**Gráfica 12.** Correlación entre el nivel de plomo en sangre y globulos blancos de las gestantes. Encuesta aplicada a pacientes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalnepantla, Edo. México. Periodo Febrero-Mayo 2010.  $n=120$ . ( $r = 0.033$ ;  $p = 0.977$ )

	PERCENTILES		
	25	50	75
<b>HEMOGLOBINA</b>	12.3	13.3	14.2
<b>HEMATOCRITO</b>	37.5	40.3	42.6
<b>LEUCOCITOS</b>	9290	11503	13500
<b>PLAQUETAS</b>	200000	239706	274500

Tabla 1. Análisis por percentiles de los indices hematológicos evaluados en las mujeres gestantes. Considerando a la mediana como valor central y a los percentiles 25 y 75 como valores de rango, se puede observar que los 4 indices hematologicos se encuentran dentro del rango considerado como normal. Considerese que las mujeres gestantes presentan una leucocitosis fisiológica y por esa razón el rango se encuentra sesgado hacia valores que en condiciones de no embarazo se podrian considerar elevados.

## Riesgo de plombemia toxica por factor de exposición

En general, se estimó cual es el riesgo de plombemia toxica que representa la exposición al tabaquismo, la infraestructura doméstica y el uso de recipientes fabricados en CVP.

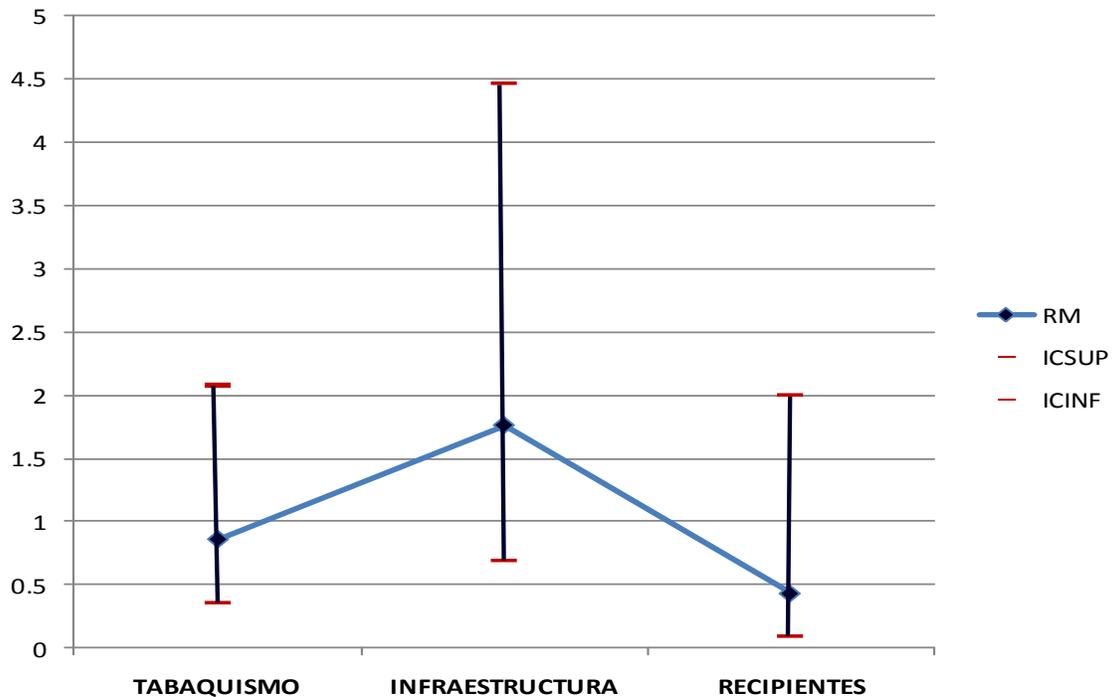
Vale la pena señalar que la infraestructura doméstica en este caso estuvo representado por el tipo de tubería que las personas que participaron tenían en su casa, ya que si es de fierro, es muy probable que exista plomo en la soldadura y si es de cobre o de plástico el riesgo es menor.

El uso de CVP presenta riesgo porque el barniz que se agrega a la loza o a los recipientes de barro, contiene plomo y aunque es sometido a elevadas temperaturas, cuando se hace uso de la CVP el plomo se disuelve y separa del recipiente y es ingerido junto con el alimento.

En la gráfica 13 se observan las estimaciones de riesgo, con base en el cálculo de la razón de momios y sus intervalos de confianza al 95% (RM, IC95%). Como se puede ver, nuestros resultados fueron Tabaquismo  $RM=0.858$  (IC95%; 0.355 a 2.076), infraestructura doméstica (tubería hidráulica)  $RM= 1.757$  (IC95%; 0.692 a 4.464) y recipientes a base de CVP,  $RM=0.429$  (IC95%; 0.092 a 2.006).

Desde el punto de vista epidemiológico, ninguno de estos factores representa una exposición de peligro para la plombemia tóxica en las mujeres gestantes.

El análisis estadístico que se aplicó a estos resultados, nos permitió validar los hallazgos epidemiológicos. Como se puede observar en la tabla 2, ninguno de los factores de exposición analizados presentó asociación estadísticamente significativa con los casos de plombemia tóxica.



**Gráfica 13.** Factores de riesgo como determinantes de las concentraciones de plomo en sangre. Encuesta aplicada a pacientes del servicio de Gineco-Obstetricia del Hospital General de Tlalnepantla, Edo. Méx. Periodo Febrero-Mayo 2010.  $n=120$ .

Factor de exposición	Valor de $p X^2$	Valor de $p$ Test de Fisher	RM (IC 95%)
Tabaquismo	0.735	0.823	0.858 (0.355 a 2.076)

<b>Infraestructura</b>	<b>0.223</b>	<b>0.263</b>	<b>1.757 (0.692 a 4.464)</b>
<b>Recipientes</b>	<b>0.271</b>	<b>0.235</b>	<b>0.429 (0.092 a 2.006)</b>

Tabla 2. Validación estadística del riesgo que representa cada uno de los factores de exposición considerados en esta parte del estudio.

### **Nivel de plomo respecto a la frecuencia de consumo en CVP**

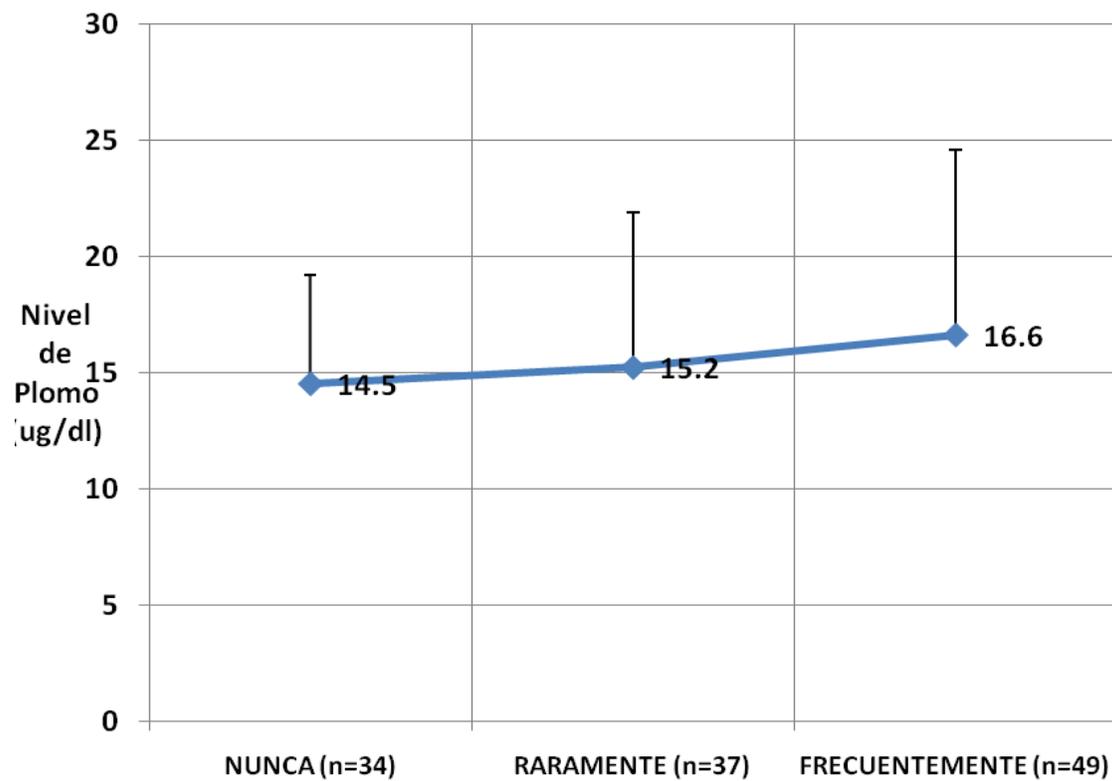
Otro factor de exposición a fuentes contaminantes lo representa la frecuencia con que se consumen alimentos utilizando utensilios de CVP.

En la gráfica 14 se presenta el valor promedio de los niveles de plomo en sangre de mujeres gestantes de 15 a 38 años de edad, respecto a la frecuencia del consumo de alimentos utilizando recipientes fabricados con CVP. Se trata de todos aquellos recipientes como cacerolas, jarros, ollas y vasijas que están hechos de barro y recubiertos con una capa de barniz que contiene plomo.

La periodicidad se midió aplicando una escala ordinal (Nunca, raramente y frecuentemente) y la información fue obtenida a través de entrevistas dirigidas a las mujeres gestantes.

Las medias de los niveles de plomo fueron  $14.5 \pm 4.7$ ,  $15.2 \pm 6.7$  y  $16.6 \pm 8.0$  para las categorías nunca, raramente y frecuentemente respectivamente. Se observa con claridad que a mayor frecuencia de consumo utilizando CVP, los niveles de plomo se incrementan, sin embargo, el análisis estadístico nos indica que no existen diferencias significativas entre las 3 categorías de frecuencia de exposición a la CVP. (ANOVA;  $p = 0.367$ )

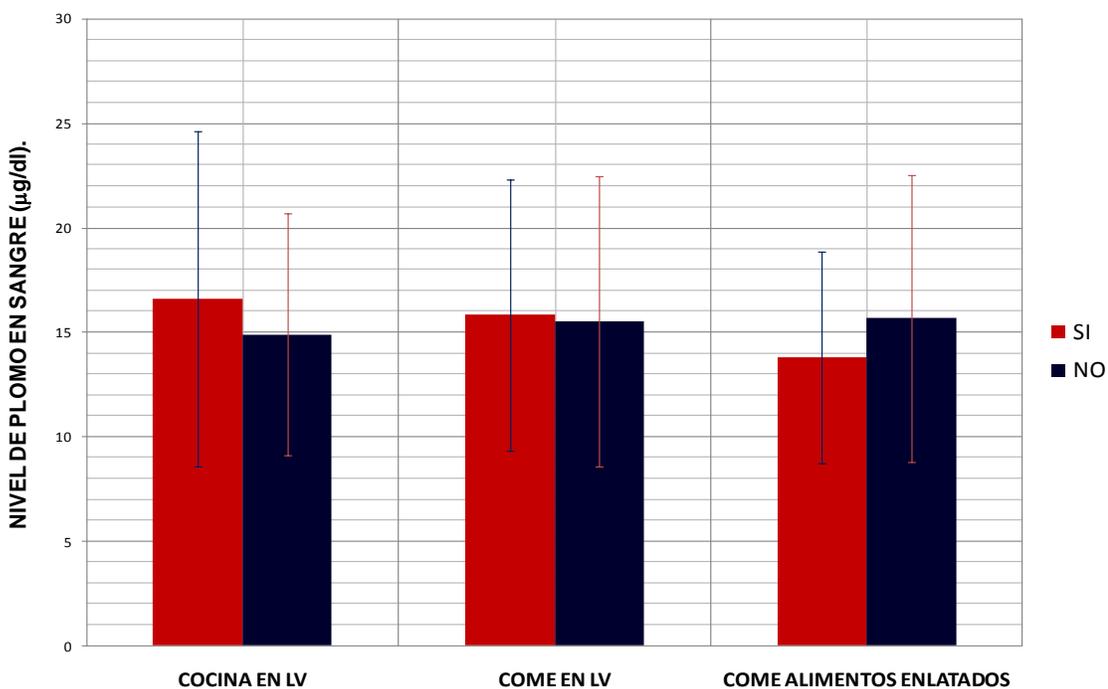
El gráfico 14 también nos señala con claridad, que inclusive aquellas mujeres que nunca consumen sus alimentos en utensilios hechos con CVP, tienen niveles de plomo muy por arriba de lo que se establece en la NOM-199-SSA1-2000.



**Gráfica 14.** Concentraciones de plomo en sangre ( $\mu\text{g/dl}$ ) de acuerdo con la frecuencia de consumo de alimentos preparados con CVP de mujeres gestantes hospitalizadas en el Hospital General de Tlalnepantla. ANOVA;  $p = 0.367$

## Niveles de plomo en sangre respecto a hábitos alimenticios de las participantes

La gráfica 15 representa los niveles de plomo en sangre de las mujeres encuestadas respecto a sus hábitos alimenticios específicamente para el uso de CVP. En este caso se preguntó si las entrevistadas cocinaban o no en CVP; si comían o no en CVP y/o si consumían o no alimentos enlatados. Se calcularon los valores medios del nivel de plomo para cada categoría y su desviación estándar. Para saber si existían diferencias significativas entre los valores medios del nivel de plomo entre los que sí y no tenían el hábito alimenticio, se realizó una “t” de Student para muestras independientes, suponiendo varianzas iguales.



**Gráfica 15.** Comparación de los niveles medios de plomo en sangre de acuerdo a algunos hábitos alimenticios de las participantes. Hospital General de Tlalnepantla, Edo. Méx. Periodo Febrero-Mayo 2010  $n=120$ . (“t” Student; en las 3 comparaciones  $p > 0.05$ )

	COCINAR		COMER		ALIMENTOS ENLATADOS	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
<b>Media</b>	<b>16.26</b>	<b>14.89</b>	<b>15.81</b>	<b>15.53</b>	<b>13.85</b>	<b>15.66</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>8.02</b>	<b>5.8</b>	<b>6.49</b>	<b>6.96</b>	<b>5.05</b>	<b>6.88</b>
<b>P</b>	<b>0.1736</b>		<b>0.8448</b>		<b>0.603</b>	

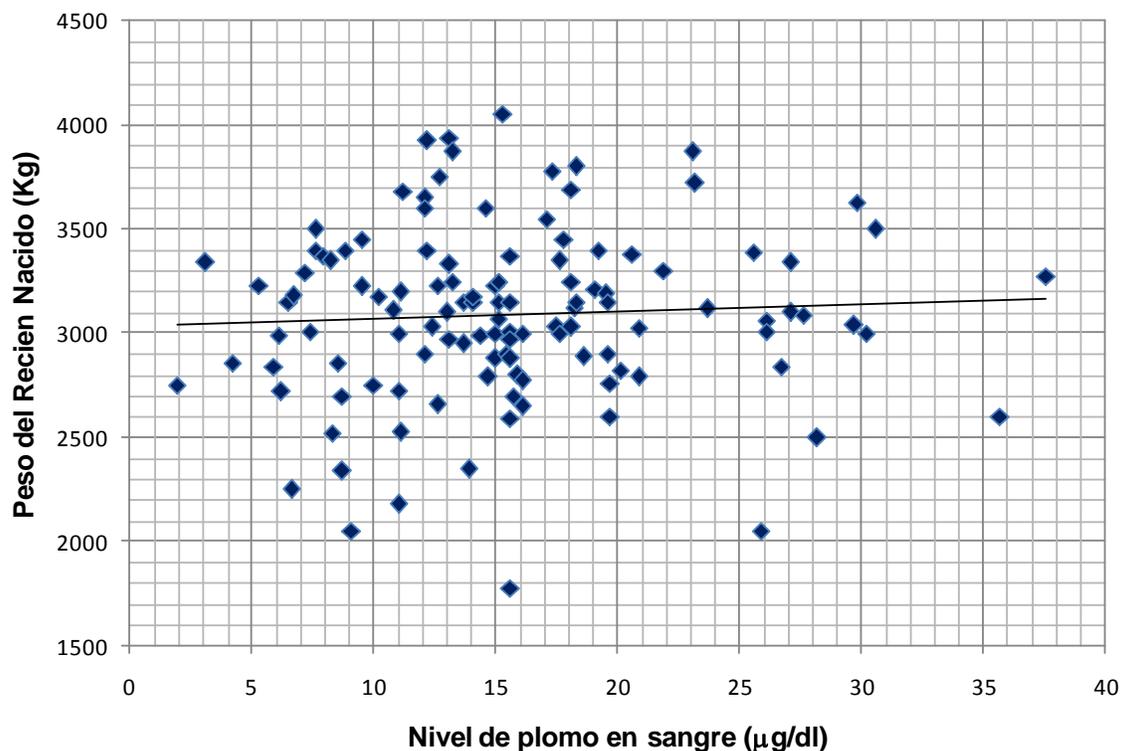
Tabla 3.- Prueba estadística a través de “t” de Student para comparar medias entre las mujeres que sí y no cocinaban, comían en utensilios hechos con CVP y que sí o no consumían alimentos enlatados. No se observaron diferencias significativas entre los sujetos que tenían o no tenían los hábitos alimenticios evaluados.

### **Relación entre el peso del recién nacido y el nivel de plomo en sangre materna**

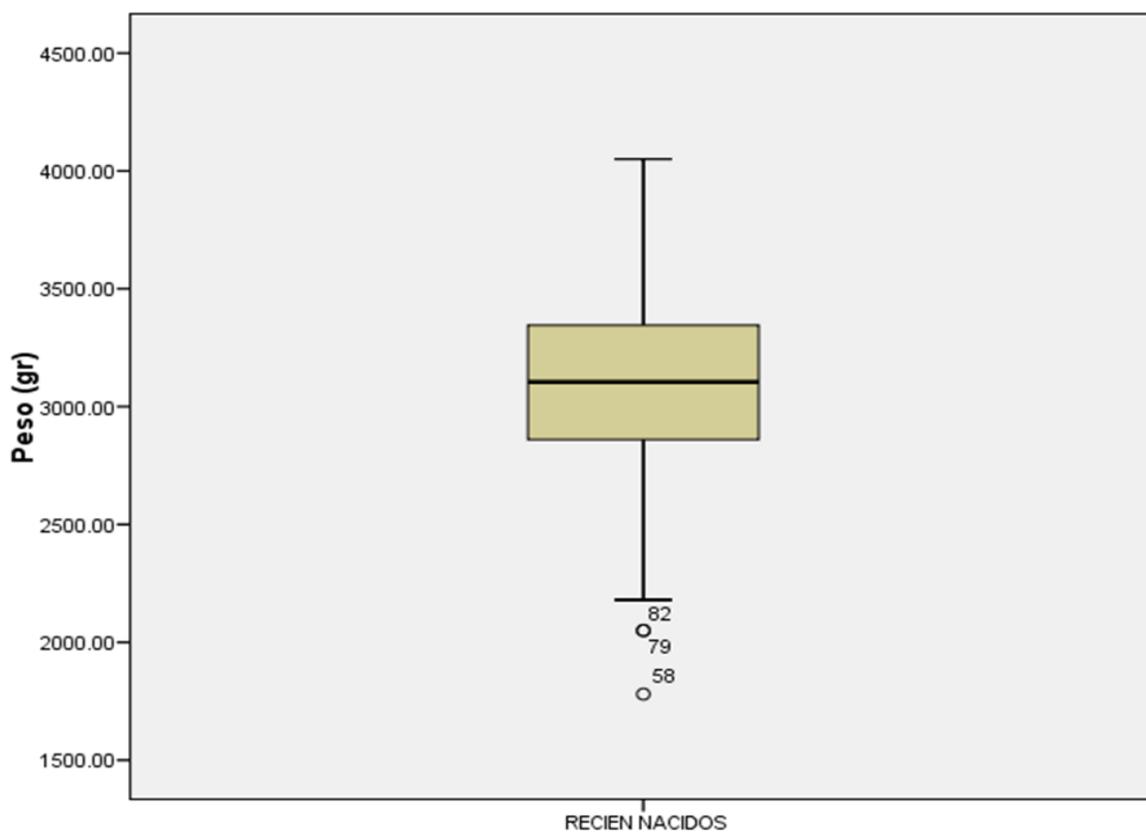
La gráfica 16 demuestra la magnitud de la relación existente entre el peso del recién nacido y el nivel de plomo en sangre de la madre, Ambas variables medidas en escala de razón, donde dicha correlación se obtuvo mediante el coeficiente de correlación de Pearson suponiendo previamente que nuestra distribución fue de

tipo paramétrica para ambas variables. La media aritmética del peso del recién nacido fue de  $3092.4 \pm 410.1$  Kg y del nivel de plomo en sangre de la madre anteriormente mencionado fue de  $15.6 \pm 6.82$   $\mu\text{g/dl}$ .

Respecto a la correlación entre los niveles de plomo en sangre y el peso del recién nacido se observó que es positiva ( $r = 0.059$ ) y no es estadísticamente significativa ( $p=0.523$ ).



**Gráfica 17.** Correlación entre el nivel de plomo en sangre y el peso del recién nacido. Hospital General de Tlalnepantla, Edo. Méx. Periodo Febrero-Mayo 2010  $n=120$ . ( $r = 0.059$ ;  $p = 0.523$ )



**Gráfica 18.** Descripción por percentiles del peso de los recién nacidos. El valor mínimo es 1780 g, el máximo es 4050 g. Mediana = 3105g. El 50% de los niños tienen un peso que va de 2860 a 3345 g.

# Capítulo VI

## Discusión

**A**nteriormente se ha mencionado que la población más vulnerable la integran los niños, mujeres embarazadas y personas de bajo nivel socioeconómico. Uno de los grupos de más alto riesgo es el binomio madre-hijo ya que está altamente documentada la facilidad con la que el plomo atraviesa la barrera placentaria, representando un riesgo para el producto en formación causando cambios en el embrión, tales como reducción de los movimientos respiratorios, aumento de los latidos cardíacos, alteración de la nutrición y el sistema nervioso, aportando menos oxígeno al feto, por lo que son mayores las posibilidades de hemorragias y ruptura prematura de membrana fetal, lo que puede conducir a nacimientos prematuros y reducción de peso del recién nacido a término, aborto espontáneo y fallas en la fecundidad femenina, según se ha documentado en la sección de los antecedentes.

Durante el embarazo y la lactancia se puede presentar movilización de diversas sustancias depositadas en el hueso, por lo que la sangre y la leche materna puede presentar una fuente de intoxicación por plomo para el niño.

Una posibilidad para estudiar la distribución del plomo, es evaluar los procesos fisiológicos que incrementan la cinética distributiva del calcio, como son el embarazo y la lactancia materna. Es necesario investigar en estos procesos ya que entrañan un peligro potencial para la vida fetal y para los recién nacidos, debido a que la redistribución del plomo puede provocar un incremento de plomo en la sangre y con ello del plomo circulante, favoreciendo su distribución a otros tejidos e incrementando así el grado de intoxicación en la mujer embarazada o en la madre que amamanta, en un fenómeno de autointoxicación.

En esta situación, no solamente la madre resultaría afectada, ya que el aumento del plomo circulante incrementa la transferencia del plomo hacia el producto a través de la placenta o la leche, provocando con ello la exposición del producto en fases muy tempranas y perjudicando el desarrollo del futuro nacimiento. Estudios recientes han identificado asociaciones negativas entre talla y plomo en sangre más allá de los 15  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . Además, se ha notificado una relación entre el plomo en sangre y la incidencia de malformaciones esqueléticas, así como un nivel bajo en el rendimiento escolar.

Existen diversos estudios que muestran que los niveles elevados de plomo en sangre ocasionan diversos efectos en el organismo, sin embargo se han realizado enormes esfuerzos para caracterizar los efectos del plomo en las mujeres embarazadas y las repercusiones sobre sus hijos.

La prevalencia de niveles elevados de plomo en la muestra de madres estudiadas es consistente con la notificada en algunos estudios previos, ya que se encontró una gran proporción de mujeres con niveles por encima de los 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ .

Navarrete Espinoza, Hernández Ávila y cols., han reportado prevalencia del 47% en mujeres gestantes del IMSS. En esta investigación obtuvimos una prevalencia del 79%. Ambas investigaciones establecieron como punto de cohorte 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ .

Navarrete Espinoza además reporta un nivel promedio de plomo en sangre de 10.4 $\mu\text{g}/\text{dl}$  y en la presente tesis se detectaron niveles de 15.6  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . (22)

Con diez años de diferencia entre nuestra investigación y la de Navarrete, observamos que tanto la prevalencia como el nivel promedio de plomo en sangre se han incrementado. Esto puede deberse a la mayor exposición a fuentes contaminantes y a una mejor tecnología en la medición del plomo en sangre.

Respecto al lugar de residencia, hemos encontrado que no importa en cual municipio de la zona suburbana resida el sujeto, en todos los municipios observados los niveles de plomo en la sangre fueron  $> 10 \mu\text{g/dl}$ . Esto pensamos que puede deberse a que las fuentes de exposición están uniformemente distribuidas tanto en el D.F. como en la zona conurbada con el Estado de México.

Al haber declarado el Instituto de Ecología en 1997 que ya la gasolina no iba a contaminar con plomo el ambiente, en este trabajo se decidió investigar otras fuentes como por ejemplo la exposición a utensilios elaborados con CVP. (37)

Antes de desarrollar la discusión sobre las fuentes que consideramos importantes, se hace un análisis de la relación entre los niveles de plomo y algunos parámetros de la biometría hemática.

En términos estadísticos, ninguno de los índices hematológicos estudiados se correlacionó significativamente con el nivel de plomo. Aunque algunos autores habían señalado presencia de anemia en personas con altos niveles de plomo, nosotros encontramos que al menos el 50% de las mujeres, se encontraban dentro del rango normal de plaquetas, hemoglobina y hematocrito. Respecto a los leucocitos, la mediana fue de 11503 (9290 a 13500). Esto sugiere la presencia de una leucocitosis fisiológica debido al trabajo de parto.

Al igual que nosotros, Seijas David en sus investigaciones no encontró ningún efecto negativo del plomo sobre los índices hematológicos, pero este autor trabajo en niños de 4 a 9 años de edad. (27).

La supuesta sensibilidad de la mujer embarazada a la exposición por plomo puede estar más bien asociada a factores genéticos como fue demostrado por Rozende,

Cantonwine y Lamadrid en 2010. Lamadrid y cols, propone que aquellas mujeres con genotipo RHF H63D fueron las que se correlacionan significativamente con menor peso de sus bebés. El genotipo RHF H63D puede reflejar las interacciones entre feto y madre con respecto al metabolismo y transporte de metales en el organismo (33,34).

Es decir, las mujeres que nosotros observamos, no mostraron ningún tipo de anemia que se reflejara en hematocrito o en hemoglobina. Probablemente la constitución genética de las mujeres observadas las hace resistentes a las alteraciones hematológicas que se han mencionados en otros trabajos. (24, 27, 31)

Cuando se hizo la comparación entre los niveles de plomo de las mujeres participantes y los niveles establecidos por la normatividad vigente en México, se observa que los niveles que observamos en las mujeres están por encima incluso de la categoría I, es decir, de las 14 µg/dl, lo cual en términos de atención a la salud implicaría acciones tales como:

- Repetir la prueba de plomo en sangre venosa hasta que termine el periodo de lactancia materna al menos cada 3 meses, después de elaborar historia clínica, con énfasis en los antecedentes ambientales y laborales.
- Notificar a la autoridad sanitaria.
- Informar a la familia acerca de la exposición ambiental a plomo, promover y fomentar buenos hábitos higiénicos, alimenticios, así como medidas personales para reducir la exposición al plomo.
- Hacer el seguimiento del caso.
- Dar seguimiento al binomio madre-hijo.

Sin embargo, en nuestro país ninguna de estas acciones se realizan debido a que se desconoce el nivel de plomo en la sangre de las mujeres gestantes y de la población en general, pues se ha asumido por parte de las autoridades de salud

que ya se han reducido al mínimo las fuentes de exposición al plomo, pero, como se ha observado en nuestros resultados, estamos muy por encima de los límites que la misma normatividad señala como no peligrosos.

Las fuentes de exposición al plomo que algunos investigadores han propuesto como las más frecuentes en la población mexicana, son los utensilios elaborados con cerámica que ha sido vidriada con barniz que contiene plomo. Pero con las temperaturas de cocimiento del barro, este plomo se desprende con cierta facilidad y se diluye con los alimentos que en ellos se cuecen, se fríen o se comen. (17, 18, 22, 23 y 26).

Otros autores sin embargo, proponen que fuentes de exposición al plomo son con frecuencia, las actividades laborales en ciertas industrias, aspectos sociodemográficos como por ejemplo el lugar de residencia o la cercanía a industrias y gasolineras y el tráfico de automotores, aunque algunos autores hacen énfasis en la constitución genética del sujeto, no como fuente de exposición, pero sí como factor que favorece la acumulación de plomo en el organismo. (21, 26, 28, 30, 33 y 34)

En seguida analizaremos la exposición a utensilios fabricados con CVP respecto a los niveles de plomo en sangre en mujeres.

Hernández Ávila y cols., encontraron que los niveles de plomo en sangre en mujeres gestantes oscilaron desde 1 hasta 52  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , con una media de 10,6  $\mu\text{g} / \text{dl}$ . El 5% de las mujeres tenía un nivel de plomo en sangre de  $>25 \mu\text{g} / \text{dl}$  y un 22% tuvo niveles  $> 15 \mu\text{g}/\text{dl}$ . (17)

Nosotros en esta investigación encontramos niveles de plomo que van de 1.9 hasta 37.6  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , con una media de  $15.6 \pm 6.82 \mu\text{g}/\text{dl}$ . Los valores máximos fueron de 30.6, 35.7 y 37.6  $\mu\text{g}/\text{dl}$ .

En este sentido, nuestra muestra presentó mayor nivel de plomo en sangre que la reportada por Hernández Ávila en 1991. Las preguntas son ¿porqué encontramos

un alto nivel de plomo si ya la gasolina prácticamente no contiene plomo?, ¿es la cerámica vidriada con plomo la principal responsable de estos niveles? ¿en verdad los alimentos enlatados ya no se contaminan con plomo con lo han afirmado las autoridades sanitarias?

Analizando la relación entre la exposición a la CVP y los niveles de plomo, se observa lo siguiente:

El riesgo por utilizar CVP al cocinar, freír o comer es nulo (RM = 0.429 IC 95%: 0.092 a 2.006) la validación estadística también nos confirma que la exposición a la CVP no puede ser la causa de los niveles de plomo tan elevados en las mujeres observadas.

Cuando analizamos la frecuencia de uso de utensilios de CVP para comer los alimentos, vemos que tampoco hay evidencia de la causalidad de esta fuente. Los valores medios de nivel de plomo en mujeres que nunca usan CVP y las que lo hacen rara vez o frecuentemente, no presentan diferencia estadísticamente significativas (ANOVA:  $p = 0.367$ ). Por lo tanto, probablemente el uso de CVP no es factor causal de la plumbemia tóxica en las mujeres gestantes que observamos.

Se ha dicho también en la literatura y por medio de la página web del Instituto de Ecología, que una fuente de exposición al plomo lo es la pintura de casas que son antiguas, es decir, la pintura fabricada hace más de 15 años aún contenía altos niveles de plomo y al erosionarse, se desprenden partículas de polvo que pueden ser inhaladas crónicamente por los habitantes de esas casas y elevar significativamente sus niveles de plomo en sangre.

Sin embargo para que lo anterior fuera posible, los habitantes de casas con antigüedad mayor a 15 años no tendrían que haber pintado sus hogares en ese periodo de tiempo.

La tabla 2 de nuestros resultados, también hace evidente que ni el tabaquismo ni la infraestructura doméstica (tuberías de fierro) se asocian significativamente a los casos de plumbemia tóxica.

De todos los posibles factores de exposición analizados en esta tesis, ninguno se asocia significativamente con los casos de plumbemia tóxica, sin embargo, en promedio y en una descripción por percentiles, la mayoría de las mujeres observadas presenta niveles de plomo muy por encima del nivel crítico de los 10 µg/dl establecido en la normatividad.

Entonces ¿de dónde proviene el plomo que se encuentra en la sangre de las mujeres gestantes observadas? ¿Por qué, independientemente de su lugar de residencia, encontramos altos niveles de plomo en sangre? ¿Es en el aire o en el agua en donde está la contaminación para que esta se distribuya uniformemente en la población?

Consideramos que esta tesis abre una serie de inquietudes e interrogantes para investigar en otras posibles fuentes de exposición al plomo las causas de la plumbemia tóxica.

Por otra parte, respecto a la relación entre los niveles de plomo en sangre y el peso del recién nacido, no encontramos correlación significativa entre estas dos variables paramétricas ( $r = 0.059$ ;  $p=0.523$ ), pero, destacan los siguientes resultados del peso del recién nacido:

Percentil 10 = 2600 g

Percentil 50 = 3105 g

Percentil 90 = 3648 g

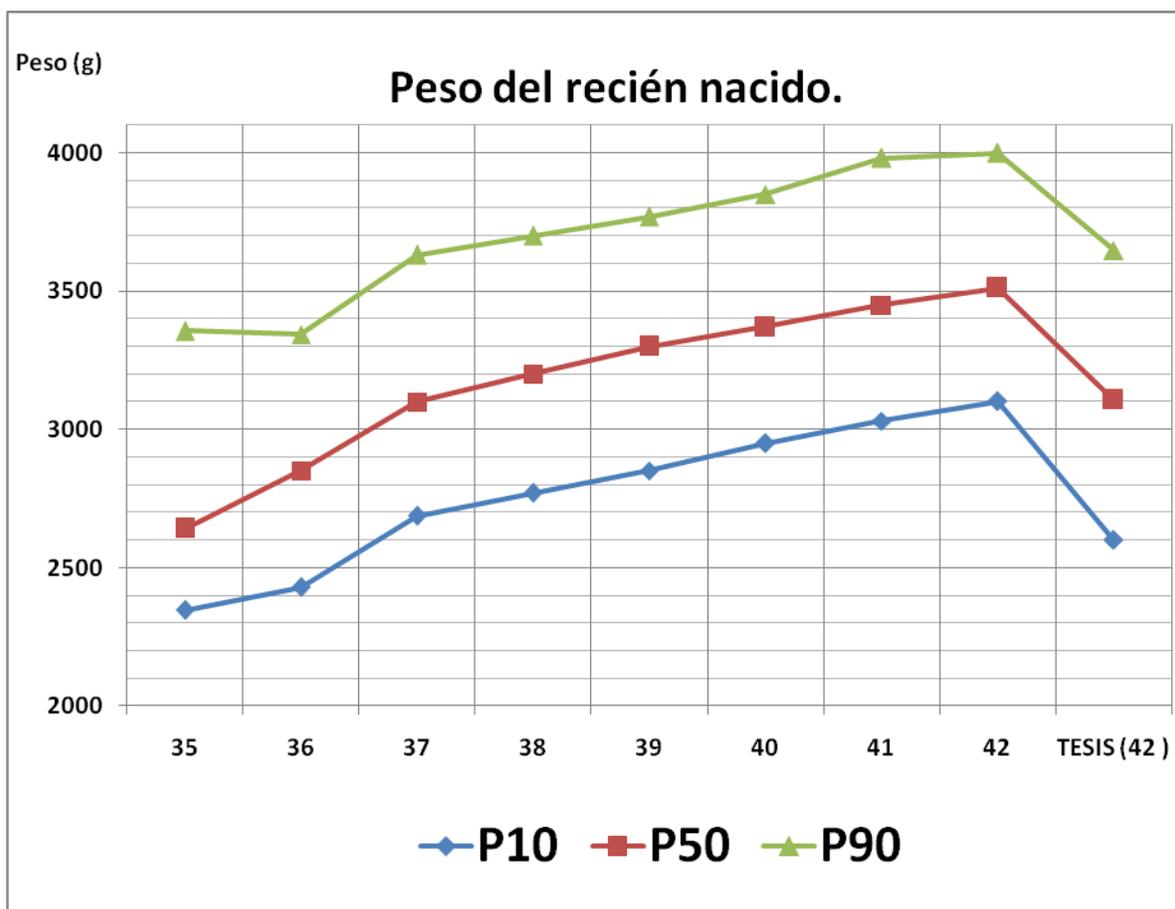
Si se hace una comparación contra el peso de los recién nacidos en diferentes edades gestacionales, obtendremos una descripción como la que se presenta en la gráfica 19, en donde se observa que el peso de los recién nacidos de las mujeres gestantes que participaron en esta investigación corresponden a una edad gestacional de 37 semanas.

Lo anterior puede deberse a la intoxicación por plomo que presentaron las madres de los recién nacidos, ya que el plomo provoca mal desarrollo del bebé en la vida intrauterina como ya fue demostrado por algunos investigadores. Las

consecuencias en el desarrollo psicomotriz y en el rendimiento escolar son eventos que probablemente se presentaran en el futuro de estos niños. (9,14, 16, 19, 20, 24, 25)

Por lo anterior, tal y como lo señala Arbuque en 2010 (32), es necesario seguir haciendo investigaciones sobre las causas y los efectos de la plumbemia tóxica, no solo en las personas más susceptibles como los niños y las mujeres embarazadas, sino también en los adolescentes y en las personas en edad productiva.

Es importante destacar que la mayoría de los estudios han sido dirigidos a la población infantil, sin embargo las mujeres embarazadas son también población vulnerable. Los hallazgos de la presente investigación permiten afirmar que los resultados obtenidos son peligrosos para la salud de las mujeres y sus hijos.



**Gráfica 19.** Descripción por percentiles del peso del recién nacido en función de la edad gestacional (semanas). Comparación de los resultados obtenidos en esta tesis respecto a los reportados para niños recién nacidos sanos. Los recién nacidos registrados en esta investigación corresponden a niños de 37 semanas de gestación.

## Capítulo VII

# Conclusiones

**D**espués de haber realizado la investigación documental del tema, obtenido los resultados y discutirlos, queda claro que en la zona conurbada del Distrito Federal y Estado de México existe una constante exposición a fuentes que contienen plomo.

La prevalencia observada fue mayor a la reportada por otros autores en 1991 (79% contra 22%), lo que nos indica que se ha dejado a un lado el problema de la plumbemia tóxica y que no se ha estudiado el origen de los altos niveles de plomo en sangre o al menos no ha sido publicado.

Nuestra hipótesis fue cierta de manera parcial, ya que, aunque si encontramos una mayor prevalencia a la reportada anteriormente en otros estudios, nuestras fuentes de exposición no se asociaron significativamente a los casos de plumbemia tóxica, incluso quienes dijeron nunca haber estado expuestos a las fuentes tuvieron altos niveles de plomo.

La exposición a utensilios fabricados con cerámica vidriada con plomo para comer, cocinar o freír, la infraestructura hidráulica y el tabaquismo, probablemente no sean factores que provoquen plombemia tóxica, en la población observada, sin embargo esta más que aceptado en la literatura científica que sí son factores de riesgo para la plombemia toxica, pero en esta investigación resulta necesario incrementar el tamaño muestral para ser evidente dicho riesgo.

Es indispensable explorar otras posibles fuentes de exposición que se distribuyan aleatoriamente entre la población residente en la zona conurbada del Distrito Federal y Estado de México y aplicar métodos estadísticos y epidemiológicos que permitan inferir la asociación entre estas fuentes y la plombemia tóxica.

Algunas fuentes que se podrían investigar son; el aire que se respira, la densidad de industrias y el agua que se bebe en esta región y el polvo de las casas.

El número de publicaciones que reportan datos relacionados con la población mexicana no es proporcional a la magnitud del problema.

Como Enfermera, ahora conozco que la contaminación ambiental en ocasiones es tratada como un tema político y no como un problema de salud pública, ya que a pesar de que la NOM-199-SSA1-2000 establece cuales son los niveles “permisibles” de plomo en la sangre de las mujeres gestantes, hemos descubierto en esta investigación que tanto la media como la mediana del nivel de plomo se encuentran por encima del valor crítico establecido en la normatividad.

Más aún, las autoridades sanitarias tal vez desconocen que la prevalencia del nivel sanguíneo de plomo se ha incrementado, y la razón es que la determinación de plomo en sangre no es un estudio rutinario en los servicios de salud.

Finalmente concluyo que probablemente uno de los factores que influyen en el bajo peso de los bebés al nacer se deba en parte a el alto nivel de plomo que presentaban sus madres, ya que en general, sus hijos presentan un peso similar al de los bebés de 37 semanas de gestación. Quizás incrementando el tamaño

muestral pudiéramos encontrar significancia estadística en la determinación de los riesgos considerados en esta investigación así como la correlación del nivel de plomo con el peso del recién nacido.

## Bibliografía

1. Montoya Miguel Á. Toxicología Clínica. 3 ed. México Distrito Federal, Méndez Editores; 1998.
2. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Resumen de Salud Pública Plomo. División de Toxicología y Medicina Ambiental Agosto 2007.
3. Provofoot T. Intoxicaciones Agudas Diagnostico y Tratamiento; Barcelona España: Doyma; 1985.
4. Córdoba D, Toxicología, 5 Ed. México: Manual Moderno. 2005, p.p. 334:344.
5. Sanín L.H, González Cossío T, Romieu I, Hernández Ávila M. Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. Salud Pública de México 1998; 40 (4): 359:368.

6. Curtis Klaassen D, Watkins B.J, “Efectos tóxicos de metales”. Manual de Toxicología. México D.F: Mc Graw Hill Interamericana; 2001., pp. 677:83.
7. Henry Wiseman J. Manual de Tratamiento de las intoxicaciones. Ginebra: 1998; pp. 206:09.
8. Secretaría de Salud. 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. Estados Unidos Mexicanos.2000.
9. Espinal Georgina & cols. “Niveles de plomo en sangre y rendimiento académico en escolares de 11-14 años en la escuela primaria República de Uruguay. Rev. Ciencia y Sociedad, 2007; 32. (1): 122-135.
- 10.Domingo J.L, Colomina M.T, Corbella J. Interacciones entre tóxicos, influencia del estrés materno sobre la toxicidad embriofetal de sustancias teratogénicas. Rev. Médica; Cataluña 1995: 10 (2) p.p 67-76.
- 11.Montgomery R. Thomas W, Arthur A. Enzimas y catálisis biológica. Bioquímica Casos y Textos. Madrid, España: Mosloy. 2000, p.p. 132-36.
- 12.Macías Rodríguez E, Mayero Franco L. Metales. Manual de Toxicología Básica. Madrid. Díaz de Santos editor. 2000; 637-42.
- 13.Sánchez R, Espectrofotometría Química clínica, México. Manual Moderno.2001, pp 85-87.
- 14.Thompson GN, Robertson EF, Fitzgerald S. Lead mobilization during pregnancy. Med J. 1985; 131- 141.
- 15.Pounds JG, Long GJ, Rosen JF. Cellular and molecular toxicity of lead in bone. Rev. Environ Health Perspect 1991; 91:17-32.

16. Bellinger D, Leviton A, Rabinowitz M, Allred E, Needleman H, Schoenbaum S. Weight gain and maturity in fetuses exposed to low levels of lead. *Environ Res* 1991; 54:151-158.
17. Hernández Ávila M, Romieu I, Rivero A, Palazuelos E. La cerámica vidriada con plomo como determinante importante de los niveles de plomo en sangre en mujeres mexicanas. *Environmental Health Perspectives* 1991; 94: 117-120.
18. Hernández Avila M, Sanín LH, Romieu I, Palazuelos E, Tapia-Conyer R, Olaiz G et al. Higher milk intake during pregnancy is associated with lower maternal and umbilical cord lead levels in post-partum women. *Environ Res/ U. S. Department of Health* 1997; 76 (91):116-122.
19. Kim R, H, Rotnitzky A, Bellinger D, Needleman H. Chronic lead exposure and physical growth parameters in a 13-year follow-up study. *Rev. Environ Health Perspect* 1995; 103:952-957.
20. González Cossío T, Peterson K, Sanín LH et. al. Decrease in Birth weight in relation to maternal bone lead burden. *Rev. Pediatrics* 1995; 100:854-862.
21. Hansen C, Buteler R, Procopovich E, Niveles de plomo en sangre en niños de la ciudad de Córdoba. *Rev. Medicina Buenos Aires* .1999; 59: 167-170.
22. Navarrete Espinosa J, Sanín Aguirre L, Escando Romero C, Benítez Martínez G, Oláis Fernández G, Hernández Ávila M. Niveles de plomo sanguíneo en madres y recién nacidos derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social; *Rev. Salud Pública de México*, 2000; 42 (5): 391-396.
23. Azcona Cruz M, Rothenberg S, Schnaas Arrieta L, Romero Placeres M, Perroni Hernández E. Niveles de plomo en sangre en niños de 8 a 10 años

- y su relación con la alteración en el sistema visomotor y del equilibrio. Rev. Salud Pública de México 2000; 42 (4): 279-287.
24. Danza, F. M. Contaminación por plomo. Informe Comisión de salud ocupacional. Sindicato médico del Uruguay; Montevideo. 2000: 1-12.
25. Guerra Tamayo J L, Hernández-Cadena L, Téllez Rojo M, Mercado García A, Solano González M, Hernández Ávila M et al. Exposición al plomo y su relación con el tiempo requerido para embarazo. Rev. Salud Pública de México; 45 (2) 189-195.
26. Meneses González, Vesta R, Lino González M, Vidal M. Niveles de plomo en sangre y factores de exposición en niños del estado de Morelos, México. Rev. Salud Pública de México; 2003; 45; 203-208.
27. Seijas D, Guido Squillante. Plomo en sangre, estado nutricional y estratificación socioeconómica, en niños de una comunidad de Valencia. Anales Venezolanos de Nutrición 2008; 14 (1):19-21.
28. Vigeh M, Saito H, Sawada SI. Lead Exposure in Female Workers Who are Pregnant or of Childbearing Age. Ind. Health. 2010; 16:1-24.
29. Al-Saleh I, Shinwari N, Mashhour A, Mohamed GE, Rabah A. Heavy metals (lead, cadmium and mercury) in maternal, cord blood and placenta of healthy women. Int J Hyg Environ Health. 2010. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=Int%20J%20Hyg%20Environ%20Health.%202010.%20>. Consultado: 10 marzo 2011.
30. Dudarev AA, Chupakhin VS, Mizerniuk VN, Lebedev GB, Chashchin VP. Blood heavy metals in women of indigenous ethnic groups in the Far North. Rev. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2010; (4):31-4.

31. Rai A, Maurya SK, Khare P, Srivastava A, Bandyopadhyay S. Characterization of developmental neurotoxicity of As, Cd, and Pb mixture: synergistic action of metal mixture in glial and neuronal functions. *Toxicol Sci.* 2010;118 (2):586-601.
32. Arbuckle. Maternal-infant biomonitoring of environmental chemicals: the epidemiologic challenges.;2010:The epidemiologic challenges. *Birth Defects Research Part A: Clinical and Molecular Teratology*, 88: 931–937
33. Rezende VB, Amaral JH, Quintana SM, Gerlach RF, Barbosa F Jr, Tanus-Santos JE. Vitamin D receptor haplotypes affect lead levels during pregnancy. *Sci Total Environ.* 2010;408 (21):4955-60.
34. Cantonwine D, Hu H, Téllez-Rojo MM, Sánchez BN, Lamadrid-Figueroa H, Ettinger AS, Mercado-García A, Hernández-Avila M, Wright RO. HFE gene variants modify the association between maternal lead burden and infant birthweight: a prospective birth cohort study in Mexico City, Mexico. *Environ Health.* 2010;9:43.
35. Vigeh M, Yokoyama K, Shinohara A, Afshinrokh M, Yunesian M. Early pregnancy blood lead levels and the risk of premature rupture of the membranes. *Reprod Toxicol.* 2010;30(3):477-80.
36. Zhu M, Fitzgerald EF, Gelberg KH, Lin S, Druschel CM. Maternal low-level lead exposure and fetal growth. *Environ Health Perspect.* 2010 ;118(10):1471-5.
37. Aspectos relevantes sobre el plomo - Instituto Nacional de Ecología Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/314/aspectosrelevantes.html> Consultado : 27 diciembre 2010.
38. Vigeh M, Yokoyama K, Kitamura F, Afshinrokh M, Beygi A, Niroomanesh S. Early pregnancy blood lead and spontaneous abortion. *Women Health.* 2010;50(8):756-66.

39. Gundacker C, Fröhlich S, Graf-Rohrmeister K, Eibenberger B, Jessenig V, Gicic D, Prinz S, Wittmann KJ, Zeisler H, Vallant B, Pollak A, Husslein P. Perinatal lead and mercury exposure in Austria. *Sci Total Environ*. 2010;408 (23):5744-9.
40. Bloom MS, Buck Louis GM, Sundaram R, Kostyniak PJ, Jain J. Associations between blood metals and fecundity among women residing in New York State. *Reprod Toxicol*. 2011;31 (2):158-63..
41. Wells EM, Navas-Acien A, Herbstman JB, Apelberg BJ, Silbergeld EK, Caldwell KL, et al. 2011. Low Level Lead Exposure and Elevations in Blood Pressure During Pregnancy. *Environ Health Perspect*. 2011; in print.
42. Alonso Trujillo J. Diseños en investigación y estadística aplicada. México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 2010.
43. Posada-Arevalo, SE; Zavala-Gonzalez, MA; Camacho-Gutierrez, P and Garcia-Osorio, AJ. Peso, Talla y Perímetro Cefálico normal en recién nacidos de cárdenas, tabasco, méxico. *Salud Pública Méx* 2008; 50 (4): 272-273.
44. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Case Studies in Environmental Medicine: Lead Toxicity. US Department of Health and Human Services, Public Health Service; 2006. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/csem/lead/docs/lead.pdf>. Consultado en abril de 2010.
45. Mauricio Hernández A. Epidemiología diseño y análisis de estudio. México. Editorial Médica Panamericana, 2007.
46. Prieto Valiente L, Herranz Tejedor I. ¿Que significa estadísticamente significativo? La falacia del crietrio del 5% en la investigacion científica. España. Díaz de Santos. 2005. Pp. 125-129.
47. Percy Pacora, Ytalia Buzzio, Wilfredo Ingar, Santibañez A. El peso del recién nacido sano según edad gestacional en una población de Lima.

Anales de la Facultad de Medicina. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.2005; 66 (3): 212-217.