



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

Propiedad de la Facultad de  
Ciencias Químicas - UAQ

**DETERMINACION DE PLOMO EN SANGRE EN  
POBLACIONES RELACIONADAS CON LA FABRICACION  
DE ALFARERIA**

**TESIS**

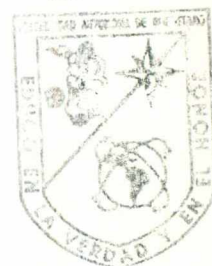
Que para obtener el título de

**QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO**

Presenta

**MA. CONCEPCION MONCADA ALVAREZ**

FACULTAD DE  
QUIMICA



BIBLOTECA

**SANTIAGO DE QUERETARO, QRO., MAYO DE 1997**

No. Adq. J50460

No. Titulo 212 QFB

Glas. TS 616.862

M 737d

ab las [illegible] de [illegible]  
Q AU [illegible] [illegible]



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**DETERMINACION DE PLOMO EN SANGRE EN  
POBLACIONES RELACIONADAS CON LA FABRICACION DE  
ALFARERIA**

**T E S I S**

**Que para obtener el título de  
QUÍMICO FARMACEUTICO BIÓLOGO**

**Presenta**

**MA. CONCEPCION MONCADA ALVAREZ**

**M. EN C. GUSTAVO PEDRAZA A.  
DIRECTOR DE TESIS**

**Q.F.B. CARLOS SIERRA SALCEDO  
SINODAL PROPIETARIO**

**Q.B. SERGIO PACHECO HDEZ.  
SINODAL SUPLENTE**

**Q.A. BEATRIZ DEL ROCIO VERDUZCO  
SINODAL PROPIETARIO**

**Q.M. JOSE MERCED ESPARZA G.  
DIRECTOR**

**SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO., MAYO DE 1997**

# **AGRADECIMIENTOS**

## **A DIOS**

Le agradezco con todo mi corazón la oportunidad vivir y de compartir cada etapa de mi vida con personas maravillosas que me han enseñado cosas valiosas y sabias. Gracias por acompañarme, ayudarme a caminar y a perseverar en todo momento.

## **A PAPA Y MAMA**

Les agradezco sinceramente todo el cariño, apoyo y comprensión que me brindan para realizar cada uno de los objetivos que me he trazado. Siempre consideré que en los momentos difíciles encontraría un preciado consuelo y estímulo por parte de ustedes.

## **A MI TIA ANGELITA**

Tía, gracias por toda la ternura y ayuda incondicional que me das; y por enseñarme a ver y a disfrutar lo hermoso que es hacer bien las cosas y poner lo mejor de nosotros en ellas.

## **A TOÑO**

Te agradezco con cariño toda la ayuda, apoyo y ánimo que siempre me brindas y por haber compartido conmigo tantos momentos de alegría y logros al ir avanzando en el trabajo. Este es también tuyo, pues participaste con gran responsabilidad en cada parte del mismo.

## **A MIS HERMANOS**

Liz, Jesu, Logio, Migue y Seve, gracias por mostrarse siempre dispuestos a ayudarme cuando los necesité. "Ní y Juán", les agradezco mucho el haberme ayudado con la preparación del material para la presentación del presente trabajo.

## **A MIS SOBRINOS Y CUÑADOS**

Gracias por hacerme pasar momentos de ternura y alegría.

### **A LA SEÑORA ELENITA**

Le expreso mi más sincero agradecimiento por todos los sabios consejos que me da, así como el cariño, cuidados y atenciones que tiene usted conmigo.

### **AL MAESTRO SERGIO**

A mi maestro, le expreso mi respeto y profundo agradecimiento por haber participado en mi formación profesional, nunca olvidaré el detalle de la "olla". Gracias por su confianza al permitirme el acceso a el laboratorio de bioquímica y a su laboratorio particular, brindándome lo que ahí se encontraba, para la realización de la parte correspondiente a la evaluación de parámetros hematológicos, incluidos en este estudio.

### **A LA MAESTRA BEATRIZ**

Gracias maestra, por toda la ayuda y consejos que me porporcionó día a día para realizar este trabajo, y sobretodo por los momentos que compartimos trabajando que me permitieron conocerla como una gran amiga y, así apreciar y admirar su invaluable ética y calidad como persona. Es usted una persona muy especial.

### **AL MAESTRO CARLOS**

Maestro, le expreso mi admiración por su capacidad, responsabilidad y empeño en la preparación académica de los que somos o hemos sido sus estudiantes, y que muestra al impartir sus cátedras. Gracias por brindarme su ayuda y consejos para el establecimiento de la evaluación de los parámetros hematológicos que se incluyen en el trabajo, y por aceptar revisar el mismo dándome valiosas sugerencias y proporcionándome material bibliográfico importante de ser incluido.

### **AL MAESTRO GUSTAVO**

Maestro, gracias por haberme brindado la oportunidad de realizar el presente trabajo, dándome su confianza y ayuda. Le agradezco sinceramente todos sus valiosos consejos y sugerencias para el mejoramiento del mismo.

### **A MI UNIVERSIDAD Y ESPECIALMENTE A LA FACULTAD DE QUIMICA**

Les agradezco a todas a las personas que constituyen esta honorable institución, y que de alguna manera contribuyeron a mi formación profesional. Gracias a todos mis maestros y a todo el personal que labora en la facultad.

## **A MIS AMIGOS**

A mis compañeros de la facultad y a mis amigos de hoy y siempre gracias por su amistad.

## **AL CEACA**

Le agradezco a los directivos de este centro por permitirme realizar la parte de la evaluación de plomo en sangre en sus instalaciones y utilizando el equipo y material necesarios para tal objetivo.

Ibone y Maru, gracias por ayudarme pacientemente y con gran experiencia a manejar el equipo utilizado para la evaluación de la concentración de plomo en sangre.

## **A LAS AUTORIDADES DE SALUD Y MUNICIPALES DE CADEREYTA**

Les agradezco por permitir la participación de uno de sus miembros, el Médico Cirujano Alejandro Romero Paredes Cuevas, quien cubrió la parte de la evaluación médica del estado de salud de los participantes en el estudio; y por facilitarnos el acceso a las comunidades.

## **A LOS MIEMBROS DE LAS COMUNIDADES DE BOXASNI Y LA MAGDALENA**

Gracias por proporcionarnos el tiempo, la información y su valiosa cooperación al donar la muestra de sangre necesaria para poder realizar el presente estudio.

## **A LAS PERSONAS DE TARIMORO QUE PARTICIPARON COMO GRUPO TESTIGO**

Gracias por su valiosa cooperación como grupo testigo, al proporcionarnos una muestra de sangre.

## **AL DOCTOR EDUARDO CASTAÑO**

Le agradezco sus valiosas sugerencias y su ayuda al proporcionarme el material bibliográfico necesario para realizar el tratamiento estadístico de los resultados obtenidos.

# INDICE GENERAL

	PAGINA
INDICE DE TABLAS	IV
INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE GRAFICOS	VII
1. RESUMEN	1
SUMMARY	3
2. INTRODUCCION	4
3. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS	7
3.1 METALES PESADOS	7
3.2 PLOMO	7
3.3 GRETA (OXIDO DE PLOMO, PbO)	8
3.4 FUENTES DE CONTAMINACION Y EXPOSICION	8
3.4.1 FUENTES DE CONTAMINACION	8
3.4.2 FUENTES DE CONTAMINACION EN EL AMBIENTE AMBIENTE OCUPACIONAL	9
3.4.3 FUENTES DE CONTAMINACION EN EL AMBIENTE GENERAL	9
3.4.4 EXPOSICION	17
3.4.5 EXPOSICION OCUPACIONAL	17
3.4.6 EXPOSICION GENERAL	17
3.4.7 POBLACIONES DE ALTO RIESGO	18
3.5 ABSORCION DEL PLOMO	18
3.6 DISTRIBUCION	21
3.7 ELIMINACION	22
3.8 MECANISMO DE ACCION	23
3.9 INTOXICACION	24
3.9.1 INTOXICACION POR COMPUESTOS ORGANICOS DE PLOMO	24
3.9.2 INTOXICACION POR COMPUESTOS INORGANICOS DEL PLOMO	25
3.9.3 INTOXICACION AGUDA	25
3.9.4 INTOXICACION CRONICA	26
3.10 EFECTOS TOXICOS DEL PLOMO	27
3.10.1 EFECTO GASTROINTESTINAL	27
3.10.2 EFECTO NEUROMUSCULAR	27
3.10.3 EFECTO SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL	28
3.10.4 EFECTO HEMATOLOGICO	29

3.10.5	EFECTO RENAL	31
3.10.6	EFECTO OCULAR	34
3.10.7	EFECTO SOBRE EL SISTEMA REPRODUCTOR	35
3.10.8	EFECTO SOBRE EL SISTEMA ENDOCRINO	35
3.10.9	EFECTO SOBRE EL SISTEMA CARDIOVASCULAR	35
3.10.10	CARCINOGENICIDAD Y TERATOGENICIDAD	35
3.11	DIAGNOSTICO	36
3.12	DETERMINACION DEL PLOMO	37
3.12.1	INDICADORES DE ABSORCION DE PLOMO, METODOS DIRECTOS O DE DOSIS INTERNA	37
3.12.2	INDICADORES DE RESPUESTA BIOQUIMICA AL EFECTO DEL PLOMO, METODOS INDIRECTOS O DE EFECTO	37
3.13	LIMITES	38
4.	OBJETIVOS	42
	OBJETIVO GENERAL	42
	OBJETIVOS PARTICULARES	42
5.	HIPOTESIS	44
6.	METODOLOGIA	45
6.1	METODOS	45
6.2	FORMATO DE LA ENCUESTA	47
6.3	MATERIAL Y EQUIPO	48
6.4	REACTIVOS	49
6.5	PUNCION VENOSA	50
6.6	PREPARACION Y ANALISIS DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE	51
6.6.1	PREPARACION Y LAVADO DEL MATERIAL	51
6.6.2	SOLUCIONES	52
6.6.3	CURVA DE CALIBRACION	53
6.6.4	PROGRAMA DE CALIDAD PARA LA DETERMINACION DE PLOMO EN SANGRE	54
6.6.5	PREPARACION Y ANALISIS DE LAS MUESTRAS	55
6.6.6	PARAMETROS INSTRUMENTALES UTILIZADOS EN EL HORNO DE GRAFITO	56
6.6.7	PROGRAMA DE TEMPERATURAS UTILIZADO EN EL HORNO DE GRAFITO	56
6.6.8	ANALISIS ESTADISTICO	57
6.7	DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE HEMOGLOBINA	57
6.8	DETERMINACION DEL HEMATOCRITO	58



6.9	RECuento DE RETICULOCITOS	58
6.10	RECuento DE CELULAS CON PUNTEADO BASOFILO	59
7.	RESULTADOS	60
8.	CONCLUSIONES	79
9.	APENDICE	81
9.1	ABREVIATURAS	81
9.2	FORMULARIO	82
9.3	TABLA. PUNTOS PORCENTUALES DE LA DISTRIBUCION F	84
9.4	TABLA. VALORES CRITICOS DE t	85
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	86

# INDICE DE TABLAS

	PAGINA
TABLA 1 CONCENTRACIONES DE PLOMO EN EL AIRE DE DISTINTAS ZONAS.	10
TABLA 2 CONCENTRACIONES DE PLOMO EN DISTINTAS MUESTRAS DE AGUA.	13
TABLA 3 CONCENTRACIONES DE PLOMO EN ALIMENTOS.	15
TABLA 4 VALORES LIMITES DE PLOMO PARA AMBITOS OCUPACIONALES.	39
TABLA 5 NIVELES DE RIESGO ANTE LA EXPOSICION AL PLOMO SEGUN LOS VALORES DE ALGUNOS INDICADORES BIOLOGICOS SELECCIONADOS.	39
TABLA 6 VALORES NORMALES DE PLOMO PARA LA REPUBLICA MEXICANA DE ACUERDO AL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL.	40
TABLA 7 VALORES LIMITES PARA PLOMO EN AMBITOS NO OCUPACIONALES.	40
TABLA 8 PREPARACION DE ESTANDARES PARA LA CURVA DE CALIBRACION PARA PLOMO.	54
TABLA 9 PROGRAMA DE TEMPERATURAS PARA EL HORNO DE GRAFITO.	56
TABLA 10 INCIDENCIA DE SIGNOS Y SINTOMAS EN LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA.	61
TABLA 11 CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE EN LOS ESTANDARES CERTIFICADOS	65
TABLA 12 RESULTADOS DE LA POBLACION RELACIONADA A LA FABRICACION DE ALFARERIA (GPO. P).	65

<b>TABLA 13</b>	
<b>RESUMEN DE RESULTADOS PARA LA POBLACION</b>	
<b>TESTIGO (GPO. T).</b>	<b>70</b>
<b>TABLA 14</b>	
<b>RESULTADOS. PARAMETROS ESTADISTICOS EVALUADOS.</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 15</b>	
<b>RESULTADOS. COMPARACION DE DESVIACIONES</b>	
<b>ESTANDAR.</b>	<b>75</b>
<b>TABLA 16</b>	
<b>RESULTADOS. COMPARACION DE MEDIAS.</b>	<b>75</b>
<b>TABLA 17</b>	
<b>RESULTADOS. DATOS PARA LA CONSTRUCCION DEL</b>	
<b>DIAGRAMA DE BOX AND WHISKER.</b>	<b>76</b>

# INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
<b>FIGURA 1</b> <b>IMPORTANCIA DEL PLOMO ATMOSFERICO EN LA</b> <b>CONTAMINACION GLOBAL DEL AMBIENTE Y EN EL</b> <b>APORTE DE PLOMO AL ORGANISMO HUMANO.</b>	12
<b>FIGURA 2</b> <b>VIAS DE ABSORCION, DISTRIBUCION Y ELIMINACION</b> <b>DE PLOMO EN EL ORGANISMO HUMANO.</b>	20
<b>FIGURA 3</b> <b>ESQUEMA DE LA BIOSINTESIS DEL GRUPO HEMO Y</b> <b>LOS SITIOS DE INTERACCION DEL PLOMO.</b>	32
<b>FIGURA 4</b> <b>EFFECTOS DEL PLOMO EN LA SINTESIS DEL GRUPO</b> <b>HEMO Y SUS EXPRESIONES BIOQUIMICAS.</b>	33

# INDICE DE GRAFICOS

	PAGINA
GRAFICA 1. HISTOGRAMA DE LA INCIDENCIA DE LOS SIGNOS Y SINTOMAS QUE HAN SIDO RELACIONADOS CON LA INTOXICACION POR PLOMO.	64
GRAFICA 2. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO P).	68
GRAFICA 3. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE PERSONAS MENORES DE 13 AÑOS DE EDAD DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO A).	69
GRAFICA 4. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE PERSONAS MAYORES DE 13 AÑOS DE EDAD DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO B).	70
GRAFICA 5. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LA POBLACION AJENA A ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO T).	72
GRAFICA 6. COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE DE PERSONAS MENORES DE 13 AÑOS DE EDAD DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO A).	73
GRAFICA 7. COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE DE PERSONAS MAYORES DE 13 AÑOS DE EDAD DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO B).	73
GRAFICA 8. COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE DE LA POBLACION AJENA A ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO T).	74
GRAFICA 9. DIAGRAMA DE BOX AND WISKER	77

# 1. RESUMEN

En las comunidades de Boxasni y La Magdalena en el municipio de Cadereyta, Qro., la mayoría de las personas se dedican a la fabricación de recipientes de barro vidriados con greta (óxido de plomo, PbO). En la mayoría de los talleres familiares, la greta se encuentra al alcance de los niños y expuesta al viento, además de que, los artesanos la manipulan sin precaución.

Por lo anterior, se llevó a cabo el presente estudio enfocado a la determinación de plomo en sangre, por medio de espectrometría de absorción electrotérmica, conjuntamente con la valoración del estado general de salud, que incluye una encuesta dirigida por un médico y a la evaluación de parámetros eritrocitarios tales como: la concentración de hemoglobina, el hematocrito, la concentración media de hemoglobina corpuscular, la presencia de células con punteado basófilo y el recuento de reticulocitos.

Posteriormente, con la finalidad de evaluar si los niveles de plomo en sangre encontrados en la población relacionada con la fabricación de alfarería involucran a tal actividad como la responsable, se seleccionó a una segunda población ajena a este tipo de actividades, que de alguna manera cuestionan la exposición ocupacional al plomo. Los miembros de esta segunda población fueron habitantes de Tarimoro, Gto., quienes, por lo tanto, constituyeron al grupo testigo.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) sugiere los siguientes límites de tolerancia biológica de concentración de plomo en sangre: 10 µg/dL (microgramos por decilitro) para niños y 20 µg/dL para adultos. De las muestras obtenidas en estas comunidades, el 55.55% de la población superaron los límites sugeridos por la Organización Mundial de la Salud, donde principalmente los menores de trece años mostraron una mayor tendencia a rebasar los límites señalados. Mientras que del grupo testigo, el 100% se mantuvo por abajo de 20 µg/dL y, únicamente un adulto rebasó los 10 µg/dL.

Se encontró una diferencia significativa entre los niveles de plomo encontrados en la población relacionada con la fabricación de alfarería y la considerada como testigo. Por lo tanto, se puede mencionar que existe una fuente de exposición al plomo diferente en la primera población, cuyas rutas y vías principales de ingreso al organismo, que contribuyen en mayor proporción no están determinados hasta el momento.

Por lo que, resulta conveniente sugerir el establecimiento de nuevos estudios que complementen al presente trabajo; que estén enfocados a la determinación de la ruta más importante que aporta los niveles de plomo en sangre en estas personas, así como la vía de ingreso del metal al organismo.

No se encontraron muestras sanguíneas con valores fuera de los límites normales en los parámetros hematológicos que se evaluaron, que de alguna manera, conjuntamente con la valoración del estado de salud evidenciaran la presencia de intoxicación por plomo.

La ausencia de síntomas y signos clásicos de la intoxicación por plomo pueden encubrir un efecto nocivo sobre el organismo vivo generado por la administración de pequeñas cantidades de plomo durante periodos largos (toxicidad crónica), en virtud de que el tóxico se encontró en el monitoreo biológico.

# SUMMARY

In the communities of Boxasni and La Magdalena municipality of Cadereyta, Qro., most people apply themselves to the fabrication of clay recipients glazed with "greta". In familiar workshops greta is found at children reach and exposed to wind. In addition, artisans manipulate it without precaution.

For these reasons this study was carried out focused on the determination of lead in blood by electrothermal spectrophotometry in ensemble with the evaluation of the general health, which includes a poll directed by a physician and the evaluation of erythrocyte parameters such as: hemoglobin concentration, mean concentration of corpuscular hemoglobin, the presence of cells with basophil punctilio and reticulocyte recount.

Afterward, whit the objective of evaluating whether lead levels in blood found in the population related with pottery work involve such activity as the cause, a second population was selected, strange to activities that question lead occupational exposition the members of this second population were inhabitants of Tarimoro, Gto., who constituted the control group.

The World Health Organization suggest the following limits of biological tolerance to lead concentration in blood: 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  for children and 20  $\mu\text{g}/\text{dL}$  for adults. From 99 samples obtained in these communities, 55.55% of the population surpassed the limits suggested by the World Health Organization, where mainly those aged less than thirteen showed a higher tendency to go beyond the limits. In the control group, 100% was below the limits and only 3.45% of the samples was higher than 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  of lead in blood.

A significant difference was found between lead levels in the population related with pottery manufacture and the one considered as control. Therefore, there is probably a different source of exposition to lead in the first population whose route and main way of ingress to the organism that contribute in higher proportion are not determined so far.

The results show that it is convenient to suggest new studies that complement the present work, that be focused on the determination of the most important route that contribute the blood lead levels in these persons, as well as the via of ingress of the metal to the organism.

The samples were found within the normal limits of the hematological parameters evaluated and the health condition didn't show evidence of lead intoxication.

The absence of classic symptoms of lead intoxication can hide a noxious effect on the living organism generated by the administration of small quantities of lead during long periods (chronic toxicity) because the toxic was found in the biological monitoring.



## 2. INTRODUCCION

La exposición del ser humano a los metales pesados, que se encuentran en forma natural en suelo y agua, ha sido desde remotos tiempos de manera continua. Los constituyentes metálicos de los plaguicidas y agentes terapéuticos son otras agravantes del problema. La adición de tetraetilo de plomo a la gasolina ha provocado que la contaminación ambiental sea hoy la mayor causa de envenenamiento por metales pesados (2).

El plomo es un metal pesado considerado como un contaminante dado que no tiene una función específica en sistemas biológicos.

El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel. La vía de ingreso, el tamaño de partícula y el tipo de compuesto de plomo (orgánico o inorgánico), determinan la concentración disponible dentro del organismo. La absorción del plomo depende de varios factores, tales como: la edad, el estado fisiológico y la integridad de los tejidos. En el caso del plomo es de interés considerar las diferencias entre individuos o entre grupos, en cuanto a factores nutricionales, metabólicos, anatómicos y de actividad física, que pueden inducir diferencias en la absorción.

La cantidad de alimento ingerido y de aire respirado, con la correspondiente ingestión o inhalación de plomo, son funciones de la actividad metabólica. Los hombres que se dedican a trabajos pesados respiran más aire y comen más alimentos que las personas sedentarias de igual peso, y los niños ingieren alimento y respiran aire tanto como los adultos lo hacen.

El plomo ejerce su toxicidad por tres mecanismos: compitiendo con los metales esenciales; mediante su afinidad por los grupos sulfhidrilos (-SH) de las proteínas; y, alterando el transporte de iones esenciales.

El daño en el ser humano se centra en varios niveles, siendo los más importantes los siguientes: gastrointestinal, neuromuscular, del sistema nervioso central, hematológico, renal y ocular (2). De los anteriores, el daño a nivel hematológico es el más sensible a la acción del plomo.

Los efectos de la intoxicación por plomo son numerosos y se manifiestan a niveles fisiológicos, conductuales y de aprendizaje. Lo cual hace imperativa la necesidad de detectar grupos poblacionales que se encuentren en riesgo de cursar con una intoxicación plúmbica, evaluar el estado general de salud y los niveles de plomo en sangre para que, tomando como base los resultados obtenidos se logren configurar las medidas de información, de prevención y de tratamiento necesarias.

Las personas que están más expuestas a la intoxicación por plomo son los mineros, trabajadores de fundidoras, alfareros, obreros de industrias productoras de: antidetonantes para gasolina, acumuladores, coberturas de cable, imprenta, construcción, cañerías, municiones, pigmento para pinturas, productos de acero, tuberías de plomo, productos químicos y elementos de protección contra radiaciones.

Se tienen antecedentes como exposiciones mantenidas a largo plazo, pueden provocar morbilidad e incluso mortalidad en presencia o en ausencia de los síntomas y

signos clásicos de la intoxicación por plomo (2), los cuales se manifiestan en el intervalo de 80 a 100 µg/dL de sangre.

En el artículo titulado "Concentración de plomo en sangre en niños de familias alfareras", Molina y colaboradores, hacen mención de que en México, la alfarería forma parte importante de la artesanía ya que le permite ocupar el quinto lugar como productor del mundo (22). Existen importantes núcleos de población rural, como es el caso de las comunidades de Boxasni y La Magdalena en el municipio de Cadereyta, Qro., que dependen económicamente en forma parcial o total de la elaboración de utensilios de barro en las que se utilizan sales de plomo para el vidriado de las mismas. Estas industrias familiares no cuentan con las medidas de prevención adecuadas y los integrantes de la familia, principalmente los niños, quienes al manipular la greta, están expuestos a niveles de plomo, que eventualmente, pueden dar lugar a una absorción peligrosa del metal con sus consiguientes efectos. Cabe señalar que los hornos que se encuentran situados dentro de las casas no alcanzan las temperaturas de proceso necesarias para el vidriado adecuado.

Las características de estas poblaciones hacen imperativa la necesidad de establecer medidas que inicialmente, tiendan a establecer un diagnóstico apropiado de los posibles daños ya producidos en las personas involucradas para posteriormente, proporcionar medidas de información y prevención.

La vigilancia epidemiológica de riesgos y de efectos adversos asociados a la exposición al plomo, es un conjunto de actividades para reunir la información indispensable que permita configurar la historia natural de la intoxicación a nivel local y detectar cambios en los factores condicionantes con el fin de recomendar la prevención y el control de los grupos humanos expuestos.

Es conveniente destacar que en el caso de las poblaciones expuestas al plomo, un programa de vigilancia debe dar primera prioridad a las actividades de monitoreo biológico, ya que el desarrollo alcanzado por las pesquisas bioquímicas permite la valiosa ventaja de identificar precozmente los estados preclínicos de intoxicación, generando la más oportuna aplicación de medidas correctivas para evitar de manera significativa la expresión clínica de la intoxicación (2).

En estudios en la industria del plomo, se ha demostrado que en los trabajadores expuestos, asintomáticos, la velocidad de la conducción nerviosa está disminuida. Esta disminución es mayor en los nervios de brazos y en las fibras sensoriales más que en las motoras. A mayor nivel de exposición, se aumenta la proporción de obreros con problemas en la velocidad de conducción nerviosa.

La detección temprana de estos cambios, seguida del cese de exposición, permite que la degeneración mielínico-axonal se detenga. Por el contrario, si la exposición continúa, ella puede provocar debilidad en las extremidades, parestesia y cambios sensoriales (12).

Debido a la magnitud, la trascendencia y la vulnerabilidad de los problemas de salud asociados a la contaminación por plomo, estos deben considerarse como problemas de salud pública y como tales deben enfocarse y solucionarse.

El alejamiento del individuo de la fuente contaminante o la sustitución de los materiales a base de plomo utilizados en la producción de un bien o servicio, constituyen los medios de prevención más adecuados, sin embargo, no son los más

viables debido a los problemas laborales y económicos que esto representa. Contar con pronósticos y evaluaciones terapéuticas basadas en el análisis de plomo en sangre, nos proporciona vehículos importantes para la identificación de grupos poblacionales que presenten daños en la salud en mayor o menor grado.

En México es prioritario que grupos gubernamentales se coordinen con instituciones de educación superior con el propósito de establecer programas dirigidos al mejoramiento laboral de los alfareros, tales como:

- Hornos adecuados (eléctricos o de quemado con diesel).
- Cambio en el proceso de fabricación.
- Monitoreos continuos de los procesos de producción y de poblaciones de alto riesgo.
- Mecanismos de seguridad personal.

## 3. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

### 3.1 METALES PESADOS

El hombre ha estado siempre expuesto a los metales pesados que tienen concentraciones naturales en el suelo y el agua; en áreas de grandes concentraciones la contaminación metálica del alimento y el agua produjo probablemente los primeros envenenamientos. La aparición de la era industrial y de la minería trajo enfermedades ocupacionales causadas por diversos metales tóxicos. Actualmente la contaminación por metales pesados se ha incrementado substancialmente como consecuencia de la amplia aplicación de los mismos y de sus derivados en distintos campos; tales como agricultura (plaguicidas), farmacia (agentes terapéuticos, antimicrobianos), industrias de antidetonantes para gasolina, alfarería (vidriado), etc. (13).

La toxicidad de los metales pesados radica en que el organismo no puede metabolizarlos y por ello persisten en el organismo y ejercen así sus efectos tóxicos al combinarse con uno o más grupos reactivos esenciales para funciones fisiológicas normales (2).

Los metales pesados, pueden reaccionar con ligandos oxígeno, azufre y nitrógeno, tomando en el organismo las siguientes formas: - OH, - COO, - OPO<sub>3</sub>H, >C=O, - SH, -S-S, -NH<sub>2</sub> y >NH. El complejo metálico resultante se forma por una unión coordinada donde ambos electrones son aportados por el ligando (grupo reactivo esencial para las funciones fisiológicas normales).

Los principales metales pesados que han afectado considerablemente la salud humana son: plomo, mercurio, arsénico, cadmio, cromo y fierro (13).

### 3.2 PLOMO

El plomo es un metal blando de color gris azulado o plateado. Este elemento químico posee un número atómico de 82 y su peso atómico es de 207.19 unidades de masa atómica (uma). Pertenece al grupo IV de la tabla periódica, su configuración electrónica es 6s<sup>2</sup> 6p<sup>2</sup> y, tiene las propiedades y características, tanto físicas como químicas, de los metales. Su punto de fusión es de 327.3°C, el punto de ebullición 1,751°C, la densidad en estado sólido 11.34 g/mL y sus estados de oxidación más importantes son 2+ y 4+; desplaza al calcio y tiene afinidad por los grupos sulfhidrilos (7). Cuenta con cuatro isótopos naturales: 208, 206, 207 y 204, en orden de abundancia.

El plomo es un componente natural de la corteza terrestre en una concentración promedio de 16 mg/kg. Normalmente se encuentra en el aire, agua, suelo, animales y plantas, debido a su producción natural y a su amplio empleo en actividades industriales. Su presencia en los tejidos y líquidos del organismo humano es consecuencia de la contaminación del medio, producida por actividades humanas, tales como: la minería, las actividades industriales y por la combustión de vehículos

automotores; pues a diferencia de otros metales el plomo no desempeña actividad fisiológica esencial alguna, y hasta la fecha no hay evidencias que le confieran importancia biológica (5).

El plomo contaminante del ambiente general, corresponde casi en su totalidad a formas inorgánicas del metal, pero pueden existir cantidades de plomo orgánico derivado de la combustión de la gasolina así como de los procesos naturales de alquilación que producen compuestos de metilo de plomo.

Una parte del plomo que es extraído de las minas (10%) es utilizado para la obtención de compuestos alquílicos de plomo (tetraetilplomo y tetrametilplomo) que se emplean como aditivos para la gasolina con la finalidad de mejorar la calidad antidetonante del combustible (se adiciona, aproximadamente, 1 mL de tetraetilplomo por cada litro de nafta). Recientemente se ha reducido el uso de estos derivados del plomo, con la finalidad de disminuir los niveles del metal en el ambiente y, por consiguiente, en el organismo humano.

Aproximadamente el 45% de la producción total de plomo se utiliza en la industria de acumuladores; el 10% en la producción de compuestos orgánicos, en particular el tetraetilo y el tetrametilo de plomo, y el 45% restante tiene múltiples usos, entre los que se destacan como fuentes de exposición humana la producción y el uso de soldaduras, cables, municiones, pigmentos, pinturas, tipos de imprenta, láminas de revestimiento, cerámica, cristales y esmaltes especiales (7, 13).

### **3.3 GRETA (OXIDO DE PLOMO, PbO)**

Conocido como mineral con el nombre de litargirio.

Polvo amarillo o amarillo rojizo, denso, inodoro o en pequeñas escamas cristalinas. Peso molecular: 223.19. Solubilidad en agua fría: 0.017 g/L; soluble en ácido nítrico, álcali y cloruro de amonio. De 300-450°C se convierte a  $Pb_3O_4$ ; su punto de fusión es de 888°C. Tóxico:  $DL_{50} = 400$  mg/kg.

Precauciones: evitar respirar el polvo, usar mascarilla, lavarse intensamente antes de comer o fumar, alejarlo de alimentos o productos alimenticios.

Usos se usa en ungüentos, yesos, soluciones de subacetato de plomo, vidriado y coloración de vidrio, vidrio de plomo, alfarería y porcelana, barnices, con glicerol como cemento metálico, para producir colores iridescentes en bronce y latón, sustancias coloridas conteniendo azufre, pelo, uñas, lana, cuernos, cascos, pigmentos para hule, manufactura de aceite de linaza y ensaye de oro y plata en minerales.

## **3.4 FUENTES DE CONTAMINACION Y EXPOSICION**

### **3.4.1 FUENTES DE CONTAMINACION**

Existen dos tipos de fuentes de contaminación por plomo, las que corresponden a el ambiente ocupacional y las relacionadas con el ambiente general.

### 3.4.2 FUENTES DE CONTAMINACION EN EL AMBIENTE OCUPACIONAL

Las fuentes de contaminación en el ambiente ocupacional son, en gran parte, responsables de la contaminación del ambiente general, lo que determinará en gran medida la exposición a la que estará sometida la población general. Así, los individuos que están expuestos ocupacionalmente, también pueden estar expuestos en el ambiente general y, además, a través del plomo presente en sus ropas, representan una fuente de contaminación importante para su hogar, afectando principalmente a los niños, que presentan una mayor susceptibilidad a la intoxicación (5).

Las fuentes de contaminación en el ambiente ocupacional son:

#### a) Minería y Fundición.

Las actividades de la minería del plomo son la fuente de exposición más evidente, aún cuando las concentraciones más altas de plomo, en este tipo de ambiente, están bajo la forma de sulfuros de plomo, los cuales son insolubles y, por lo que, sólo tienen importancia por la posibilidad de ser ingeridos, con una absorción digestiva moderada.

La exposición no sólo es importante para los mineros que trabajan en las mismas instalaciones, sino para otros trabajadores, principalmente los del proceso de fundición, el cual es el que presenta mayor riesgo para la salud entre todas las industrias de este metal, ya que durante la fundición el plomo calentado desprende vapores con partículas de tamaño respirable ( $< 5 \mu\text{m}$ ) a concentraciones altas, tales como 200 a 300  $\mu\text{g}$  de plomo por metro cúbico de aire.

#### b) Industria

El plomo se encuentra en diversas actividades industriales, ya sea como componente de la materia prima, como es el caso de las industrias de baterías, pigmentos y cables, o como parte de los subproductos del proceso como es el caso de la imprenta y uso de soldadura. En los casos en que está presente como materia prima, el plomo suele generar concentraciones ambientales elevadas. Es frecuente encontrar niveles de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Las industrias que presentan mayor riesgo por la presencia de plomo, según su rama o tipo, son: alfarería (vidriado), antidetonantes para gasolina, baterías (acumuladores), coberturas de cable, construcción de cañerías, imprenta, municiones, pigmentos para pintura, productos de acero, elementos de protección contra radiaciones, tubería de plomo, reactivos químicos.

### 3.4.3 FUENTES DE CONTAMINACION EN EL AMBIENTE GENERAL

El transporte y la distribución del plomo en el ambiente aún necesitan de investigación.

El ambiente general es fundamentalmente contaminado por las actividades antropogénicas.

El mecanismo primario a través del cual se produce la extensa y variada contaminación antropogénica del ambiente, lo constituye la emisión hacia el aire del metal o sus compuestos, ruta por medio de la cual se logra una muy alta capacidad contaminante de prácticamente todos los componentes ambientales.

Las principales fuentes antropogénicas que contaminan el ambiente urbano son, primero, la combustión de gasolina que contiene aditivos de plomo - que en general representa el primer lugar con un aporte porcentual muy alto - y, en segundo lugar de importancia, la fundición primaria del plomo.

Las fuentes de contaminación en el ambiente general son:

#### a) Aire

En la figura 1, se observa la importancia de la presencia de plomo en el aire sobre la contaminación global del ambiente, al depositarse en polvo, aguas y suelo; o bien, al ser captado por diferentes organismos; además de que muestra las maneras mediante las cuales, posteriormente, ingresa al hombre.

La presencia de plomo en el aire adquiere interés por la facilidad con la que puede penetrar por la vía respiratoria y ser absorbido por el organismo. La mayor parte del plomo en el aire se presenta bajo la forma de partículas finas. No se sabe mucho sobre la forma química más importante en que el plomo se presenta en el aire. Se ha determinado en él, la presencia de haluros, óxidos, sulfatos y carbonatos de plomo.

El plomo de la corteza terrestre no contamina importantemente en forma natural el aire. Las emisiones antropogénicas son unas 20 veces mayores que las emisiones naturales. Alrededor del 50% o más del plomo emitido al aire por fuentes antropogénicas, corresponde al proveniente de vehículos automotores (gasolina con aditivos de plomo).

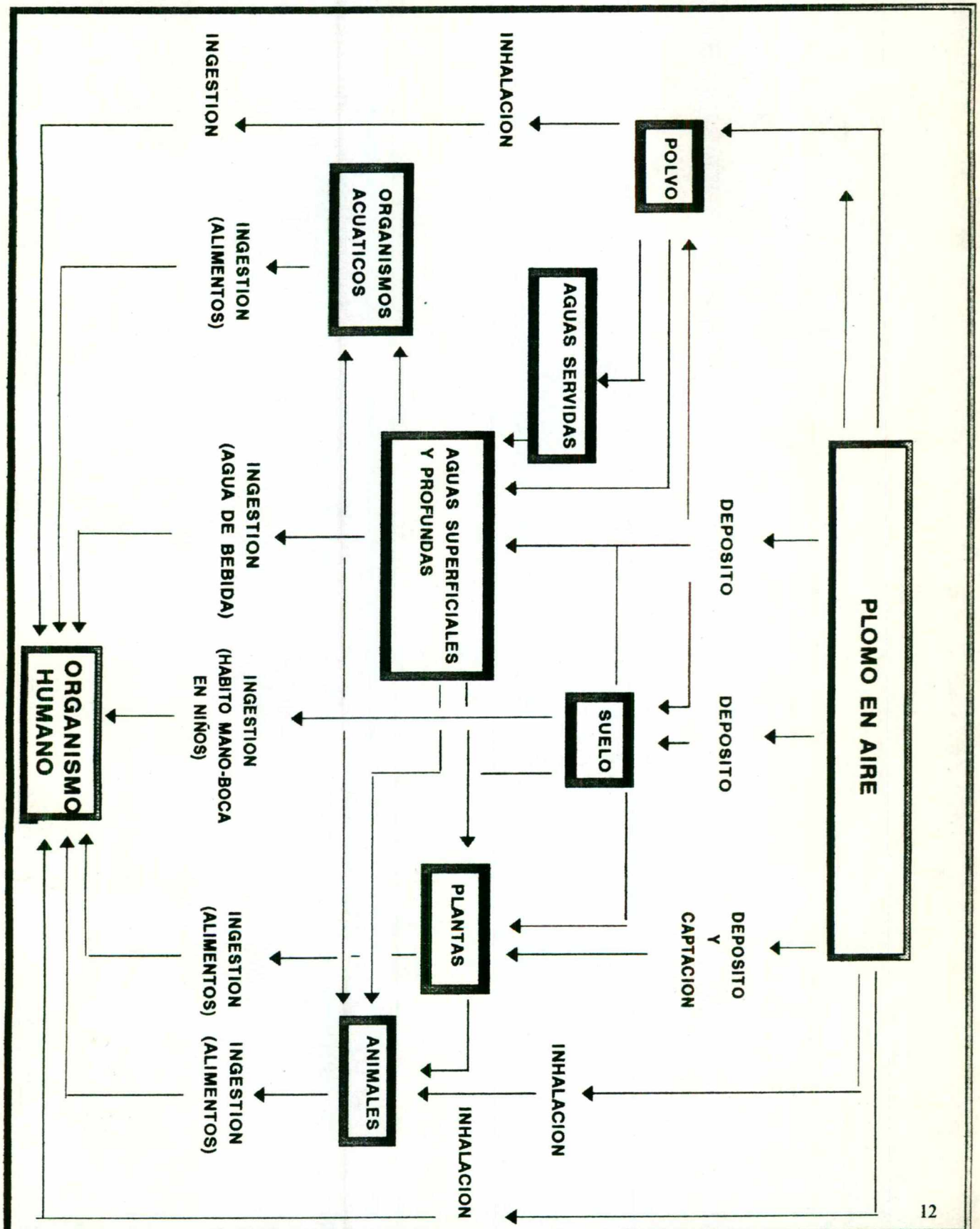
**TABLA 1. CONCENTRACIONES DE PLOMO EN EL AIRE DE DISTINTAS ZONAS (5).**

ZONA	CONCENTRACION DE PLOMO
Lugares remotos	Aprox. 0.1 ng/m <sup>3</sup>
Regiones rurales (cercanas a ciudades)	0.21 µg/m <sup>3</sup>
Ciudades con actividades industrial y vehicular importantes	1-10 µg/m <sup>3</sup>
Calles urbanas con alto tránsito	>10 µg/m <sup>3</sup>
Zonas vecinas a fundidoras	> 100 µg/m <sup>3</sup>

Los niveles de concentración de plomo detectados en el aire, son variables dependiendo de la zona monitoreada y de las actividades que en ella se realicen, y que de alguna manera involucren la utilización del metal. La tabla 1, muestra como la concentración de plomo se va incrementando de acuerdo a la actividad. Así, mientras que en lugares remotos se encontraron cantidades de, aproximadamente,  $0.1 \text{ ng/ m}^3$  de aire, en las zonas vecinas a fundidoras estas concentraciones son hasta un millón de veces mayores.



**FIGURA 1. IMPORTANCIA DEL PLOMO ATMOSFERICO EN LA CONTAMINACION GLOBAL DEL AMBIENTE Y EN EL APORTE DE PLOMO AL ORGANISMO HUMANO (5).**



## b) Agua

La contaminación de las aguas servidas, superficiales y profundas, así como éstas a su vez contribuyen, finalmente, al ingreso del plomo al organismo humano, se esquematiza en la figura 1.

**TABLA 2. CONCENTRACION DE PLOMO EN DISTINTAS MUESTRAS DE AGUA (5).**

MUESTRA DE AGUA	CONCENTRACION DE PLOMO
Agua en áreas no contaminadas: Aguas Superficiales Ríos Mares	1 µg/L 8 µg/L < 8 µg/L
Aguas oceánicas superficiales	0.05 - 0.4 µg/L
Aguas subterráneas (hasta 1000 m)	0.03 µg/L
Agua potable	3.7 - 139 µg/L

En la tabla 2, se indican las concentraciones de plomo detectadas en distintas muestras de agua; de donde se puede notar que, los niveles de plomo encontrados en aguas oceánicas superficiales, subterráneas y las provenientes de áreas no contaminadas son relativamente bajos; mientras que los correspondientes al agua potable, son elevados y varían considerablemente.

El límite establecido por la OMS para la concentración de plomo en agua potable es de 50 µg/L (5).

La exposición al plomo a través del agua es, sin embargo, mínima, debido a que se encuentra en formas esencialmente insolubles del tipo carbonatos y sulfatos; además, el agua potable tiende a tener, en términos generales, menor contenido de plomo que el agua no tratada de la fuente, puesto que, debería ser removido por plantas de tratamiento de agua potable, durante la fase de ablandamiento, la cual se realiza por floculación o mediante las resinas de intercambio iónico. Cuando se detectan niveles elevados, de plomo, en la red y en los estanques de almacenamiento, especialmente en el caso de las aguas blandas y de pH bajo, habitualmente son resultado de la corrosión sobre estas estructuras cuando han sido elaboradas con plomo.

El consumo humano de agua, sobre la base de 2 L diarios, puede significar un aporte habitual de plomo al organismo humano variable de 10 µg a 1 mg o más al día.

### **c) Suelo**

En zonas alejadas de la actividad humana, la concentración media de plomo en el suelo es semejante a la concentración natural en la corteza o en las rocas, de 5 a 25 mg/kg. En áreas contaminadas, se pueden encontrar en el suelo concentraciones de hasta 8 g/kg.

El suelo es contaminado principalmente por depósitos de partículas del aire y por agua contaminada por actividades industriales.

El desgaste de las pinturas de las casas, ha sido en algunos casos una fuente importante de intoxicación, principalmente para los niños pequeños que pueden ingerir tierra.

Si en ciertas partes se continuara el uso de plaguicidas con contenido de plomo (arseniato de plomo, por ejemplo), se debe considerar esta situación como un elemento adicional de contaminación de suelos, especialmente agrícolas.

### **d) Alimento**

La cantidad de plomo ingerida a través de los alimentos varía mucho, según el tipo de producto.

El plomo está presente en la dieta y en el ambiente humano. Los valores medios de ingestión total de plomo al día en la ración de alimentos han variado según el país y el autor; los valores han sido de 17.8  $\mu\text{g}/\text{día}$  para el mínimo y de 518  $\mu\text{g}/\text{día}$  para el máximo observado.

Mecanismos muy importantes de contaminación de alimentos con plomo son los utensilios metálicos de cocina que tengan soldaduras de plomo, que sean de peltre o de cobre con recubrimiento de estaño, e igualmente los utensilios domésticos de alfarería vidriada usados para cocinar o almacenar alimentos, agua y bebidas, especialmente si éstos son ácidos. Las latas conserveras con soldaduras de plomo representan un riesgo relativo, ya que se ha visto que liberan el plomo hacia el alimento, dependiendo si el contenido tiene un pH ácido y de la tecnología de la conservería.

El plomo se acumula en muchos organismos de muy variados ambientes, especialmente en los acuáticos; sin embargo, hay pocas evidencias de que existan concentraciones crecientes en las cadenas alimenticias.

Si bien, en general, la mayor fuente del plomo ingerido son los alimentos, alrededor del 90% del plomo ingerido con ellos es eliminado por las heces; de este modo la importancia de la ingestión de plomo es significativa sólo cuando existe un alto índice de contaminación ambiental que repercuta en los alimentos (5).

Las frutas, verduras y cereales se contaminan con plomo ya sea absorbiéndolo a partir del suelo, o bien, recibéndolo como depósito en sus superficies a partir del aire contaminado. Por lo que, las concentraciones de plomo en éstos, es variable, dependiendo del lugar en el cual se han cultivado; debido a las diferencias en los niveles del metal en el suelo y el aire. En la tabla 3, se presenta un enlistado de alimentos y las correspondientes concentraciones de plomo que se han encontrado en los mismos.

**TABLA 3. CONCENTRACIONES DE PLOMO EN ALIMENTOS (5).**

ALIMENTO	CONCENTRACION DE PLOMO mg/kg
Condimentos	1.5
Pescado y mariscos	0.2 - 2.5
Cereales	0.0 - 1.37
Vegetales	0.0 - 1.3
Carne y huevo	0.0 - 0.37
Chiles en vinagre	1.74
Jugos de frutas	0.65
Remolacha	25
Cocoa	0.67 - 0.76
Vinos	0.3
Leche evaporada	0.2
Lechuga	0.24
Cebolla	0.22
Coliflor*	< 0.1
Jitomate*	< 0.1
Col*	< 0.1
Fresa*	< 0.1
Naranja*	< 0.1

\* Son vegetales y frutas que han sido cultivados en las cercanías de carreteras altamente transitadas (5).

La FAO ha recomendado que para el azúcar y glucosa sean tolerados 2 mg/kg; para grasas y aceites 0.1 mg/kg y para algunos néctares o jugos 0.3 mg/kg (5, 22).

#### **e) Tabaco**

Cada cigarrillo puede contener de 2 hasta 12  $\mu\text{g}$  de plomo. Gran parte de esto se desprende al ambiente con la combustión, pero se inhala un 2%, lo que equivale a una absorción diaria de 1 a 5  $\mu\text{g}$  de plomo por el organismo, fumando 20 cigarrillos por día.

#### **f) Otras**

Una fuente importante, principalmente para los niños, puede ser las pinturas de las paredes de las casas, que por desgaste producen polvo con altas concentraciones de plomo. Se han identificado concentraciones de plomo en el suelo cercano a las casas, de 900 a 2300 mg/kg, según la distancia. Hay casos descritos en los cuales el niño se ha intoxicado por ingerir restos de pintura suelta, chupar muebles o comer papel mural (5).

Como consecuencia de la ingestión de partículas de pintura descascarada de edificios antiguos, se pueden presentar casos de envenenamiento por plomo ya que el contenido del metal en éstas puede constituir del 5 al 40% de los sólidos secos (4, 13).

Antes de la Segunda Guerra Mundial, el carbonato de plomo (blanco) y el óxido de plomo (rojo) eran los componentes comunes de las pinturas. En 1955 la American Standards Association especificó que las pinturas para juguetes, muebles e interiores de edificios no podrían contener más del 1% de plomo en la parte sólida seca final de la pintura fresca (13).

Existen otras fuentes importantes que han causado intoxicación, tales como: el whisky destilado ilegalmente (que posee elevadas concentraciones de plomo), los recipientes de cerámica inadecuadamente barnizados, el uso como combustible de baterías desechadas, algunos cosméticos, las impresiones en color de grabados y las ropas de personas que trabajan con plomo.

Otros casos de intoxicación por plomo han sido atribuidos a diversos orígenes como juguetes de plomo, polvo de plomo en las galerías de tiro al blanco, pigmento de pinturas, compuestos solubles de plomo contenidos en cañerías de dicho metal, desechos de joyeros, fabricación casera de baterías y tipos de imprenta de plomo (13). Y en la actualidad, por trabajos relacionados con vitrales.

En el caso específico de los trabajadores del plomo la contaminación de las manos y la manipulación de cigarrillos y alimentos representan una exposición adicional importante al metal.

Se estima que su concentración atmosférica en zonas urbanas es 10 a 20 veces superior a la de las zonas rurales. Las concentraciones de plomo en el organismo, en general, son más elevadas en hombres que en mujeres, en habitantes de zonas urbanas que en los de zonas rurales, en fumadores que en no fumadores. Se ha destacado como llamativa la exposición diferente entre ambientes urbanos y rurales. Los niveles actuales de plomo en sangre que se informan para poblaciones altamente industrializadas reflejan estas diferencias si se comparan con los niveles encontrados en poblaciones rurales contemporáneas, ajenas a actividades industriales. Sin olvidar que en estas zonas el principal contaminante, hasta ahora, es plomo que proviene de los motores de combustión interna de los automóviles en forma de óxido de plomo.

Por lo anterior, es importante recalcar que los trabajadores que participan en la extracción, fundición, refinación o elaboración de artículos que contienen plomo o sus compuestos están expuestos ocupacionalmente, siendo aún mayor el riesgo para aquellos que laboran con el plomo calentándolo a altas temperaturas, porque ahí se originan vapores y, entonces, se deposita polvo que contiene óxido de plomo en el ambiente que los rodea. El riesgo es el mismo para aquellos que trabajan en fabricas de baterías de almacenamiento. En marzo de 1990 la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos, FDA (por sus siglas en inglés, Food and Drugs Administration), emitió un llamado para prevenir la presencia de plomo en recipientes de barro y vasos de vidrio, ambos de producción artesanal casera e importados (13, 39).

### 3.4.4 EXPOSICION

La exposición a una sustancia química dada es una medida del contacto entre la sustancia y la superficie exterior del organismo. La intensidad de una exposición es función de la concentración de la sustancia en contacto con la superficie exterior del organismo y la duración del contacto ( tiempo).

Los efectos tóxicos se producen en un sistema biológico cuando el agente químico ha alcanzado al receptor apropiado en una concentración y tiempo suficientes como para producir el efecto. La intensidad del efecto producido por un agente tóxico depende de la concentración de ese agente en el sitio de acción, y en ciertos casos, de la velocidad y el tiempo con que esta concentración es alcanzada.

Se han establecido dos tipos de exposición, la ocupacional y la general.

### 3.4.5 EXPOSICION OCUPACIONAL

La población que se encuentra ocupacionalmente expuesta está constituida por los trabajadores que laboran en la extracción, fundición, refinación o elaboración de artículos que contienen plomo o sus compuestos. Es importante considerar que el riesgo máximo de intoxicación por plomo, es para los que laboran con el plomo calentándolo a altas temperaturas, debido al desprendimiento de humos y vapores.

En el ambiente ocupacional la vía de absorción más importante es la respiratoria. Si bien la exposición ocupacional al plomo ha sido tradicionalmente a sus compuestos inorgánicos, en los últimos tiempos la exposición ocupacional a compuestos orgánicos ha adquirido importancia.

### 3.4.6 EXPOSICION GENERAL

La exposición ambiental general está íntimamente relacionada con la contaminación del medio por actividades industriales y mineras y por la combustión de motores de gasolina que contiene aditivos de plomo. Las poblaciones de las aglomeraciones urbano-industriales están más expuestas que aquéllas de áreas rurales.

La vía de absorción más importante para la población en general es la digestiva.

En general este tipo de población está expuesta más permanentemente a los compuestos inorgánicos del plomo que a sus derivados orgánicos, tanto porque éstos se emiten al ambiente general en menor cantidad que los primeros, como porque se ha podido comprobar que, en general, los contaminantes orgánicos del plomo tienden a sufrir en el ambiente extensas degradaciones que al final llevan a la formación de plomo inorgánico. El plomo orgánico absorbido del ambiente sufre una biotransformación dentro del organismo para finalmente encontrarse como plomo inorgánico.

La exposición no ocupacional se puede dar de las siguientes formas:

- a) Por vecindad a fuentes de contaminación por plomo.
- b) Por contacto con trabajadores expuestos.
- c) Por inhalación del aire exterior contaminado.
- d) Por ingestión de alimentos contaminados.
- e) Por ingestión de agua potable contaminada de la fuente o en las instalaciones de distribución y almacenamiento construidas con piezas que contienen plomo.
- f) Por ingestión de polvo conteniendo plomo decantado o restos de pintura a base de plomo.
- g) En ambiente de carácter ocupacional familiar, habitualmente en forma de talleres e incluso con carácter clandestino (5).

### 3.4.7 POBLACIONES DE ALTO RIESGO

Una población en riesgo es aquel grupo o segmento de una población definida, en donde son mayores las probabilidades de que existan exposiciones a niveles de concentración peligrosos o de que los efectos producidos por el plomo sean más graves que en el resto de la población. Entre ellas se señalan las siguientes:

- a) Trabajadores de industrias donde haya plomo.
- b) Personas residentes en zonas cercanas a fuentes mineras o industriales emisoras de plomo.
- c) Residentes vecinos a vías o carreteras con alto tránsito vehicular.
- d) Pobladores de regiones donde exista minería de plomo.
- e) Personas oriundas de regiones donde haya contaminación elevada del ambiente por plomo.
- f) Pobladores de regiones urbanas con alto desarrollo industrial y del parque vehicular.
- g) Familiares de trabajadores de industrias que utilizan plomo.
- h) Mujeres embarazadas.
- i) Niños menores de 5 años.
- j) Personas con enfermedades de la sangre, principalmente anemias.
- k) Personas con enfermedades neurológicas.
- l) Personas con deficiencias nutricionales, principalmente de hierro, calcio, fósforo y proteínas.
- m) Alcohólicos.
- n) Fumadores.

## 3.5 ABSORCION DEL PLOMO

Las vías de absorción del plomo son la gastrointestinal, la respiratoria y la percutánea. En la figura 2, se muestran las dos primeras, las cuales son las más importantes para el caso particular del plomo que se encuentra formando parte de un compuesto inorgánico, el monóxido de plomo. (5, 7).

Se estima que la absorción total diaria de plomo en la población no ocupacionalmente expuesta varía de 150 a 300  $\mu\text{g}$ , siendo un bajo porcentaje de ésto por el aire inhalado y el restante por los alimentos.

La concentración de plomo en el organismo que es alcanzada después de la exposición al mismo depende de varios factores, entre los cuales se tienen:

- Vía de ingreso
- Tamaño de partícula
- Tipo de compuesto de plomo (orgánico o inorgánico).

Los factores de los que depende la absorción del plomo son:

- Edad
- Estado fisiológico del individuo
- Integridad de los tejidos.

La absorción gastrointestinal del plomo varía con la edad ya que se ha comprobado que los adultos absorben aproximadamente el 10% del plomo ingerido, mientras que los niños, principalmente los lactantes, absorben entre un 40% y un 50%. La absorción del plomo a esta edad también se ve afectada por los niveles de calcio ya que se ha supuesto de que tanto el plomo como el calcio compiten por un mecanismo de transporte común, porque existe una relación recíproca entre el contenido dietético de calcio y la absorción de plomo. Un tercer factor que ha demostrado que interviene en la absorción del plomo es el hierro pues cuando hay deficiencia de este último se ve incrementada la absorción del plomo (5, 13).

Es importante señalar que los compuestos orgánicos son los que se absorben más extensivamente por la vía gastrointestinal (5).

Las deficiencias en la ingesta de proteínas, hierro y calcio asociadas a una dieta rica en vitamina D o en lípidos favorecen aún más la absorción de plomo a nivel gastrointestinal.

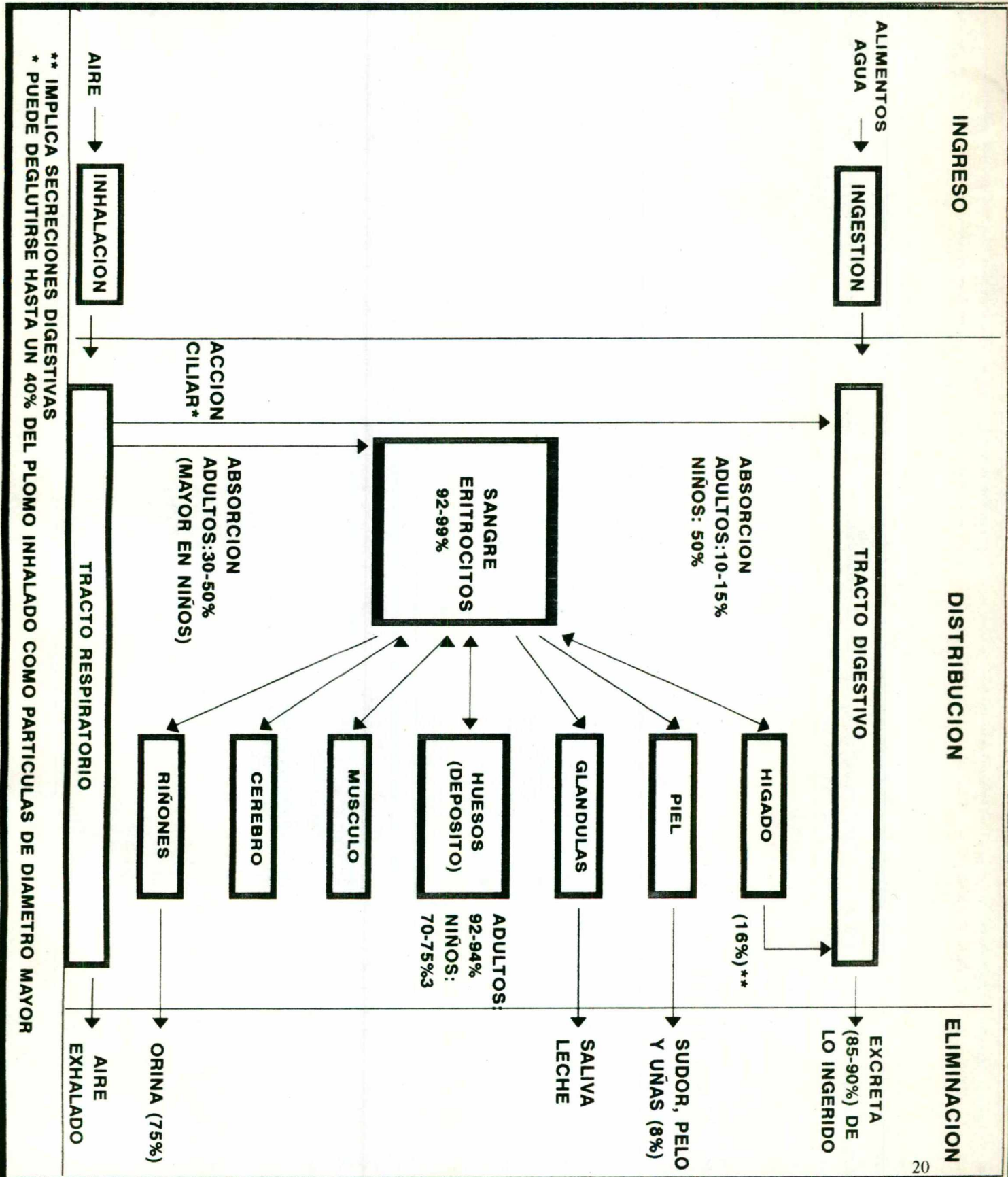
Con respecto a la absorción del plomo a través de las vías respiratorias se ha mencionado que ésta varía según la forma (vapor o partículas) y la concentración del plomo que es inhalado. Al ser inhalado el plomo ambiental un 35% de éste, ya sea orgánico o inorgánico, se deposita en las vías aéreas. Después, de que el metal se deposita en la nasofaringe, la traquea, los bronquios y los alveólos, parte de esas partículas inhaladas ascienden por acción de cílios, pasan así al esófago y se absorben parcialmente en el tracto gastrointestinal (5).

Las partículas restantes que llegan hasta los alveólos son absorbidos y pasan a la sangre. El tránsito a través de las vías broncopulmonares depende del tamaño de las partículas y de la solubilidad del compuesto inhalado. El daño en la mucosa y en los alveólos producidos por el hábito de fumar facilita el paso del plomo hacia la sangre. Las partículas que no son absorbidas, digeridas o eliminadas en las secreciones, constituyen los depósitos de plomo en el árbol respiratorio posteriormente eliminado por cílios y macrófagos. Sólo entre un 35% a un 50% del plomo alcanza el tracto respiratorio inferior y pasa al torrente sanguíneo (13).

La absorción del plomo depositado en las vías respiratorias terminales es rápida, extensiva y prácticamente total, y es un proceso independiente de la forma



FIGURA 2. VIAS DE ABSORCION, DISTRIBUCION Y ELIMINACION DE PLOMO EN EL ORGANISMO HUMANO (5).



química del compuesto de este metal (5).

Aparentemente la absorción de plomo es más peligrosa por vía respiratoria que oral, debido al tamaño de partículas, ya que son menores de un micrón, siendo fácilmente incorporadas en los alveólos (42).

Los compuestos que se presentan como polvos, humos, nieblas o vapores tienen trascendencia en cuanto a la exposición directa, por la vía respiratoria, en ambientes ocupacionales; en cambio, esto es de valor secundario para poblaciones generales.

Los compuestos orgánicos tienen interés en ambientes laborales por su alta posibilidad de absorberse por la piel; siendo en cambio prácticamente nula la absorción dérmica de los compuestos inorgánicos.

En el ambiente ocupacional la vía de absorción más importante es la respiratoria; mientras que en la población en general la vía de exposición de mayor importancia es la digestiva (5).

Con respecto a la absorción percutánea es importante mencionar que éstas sólo tiene importancia ante el contacto con compuestos orgánicos de plomo.

### **3.6 DISTRIBUCION**

Después de que el plomo es absorbido se distribuye en todo el organismo y se acumula en ciertos compartimentos. Inicialmente se localiza en los tejidos blandos, especialmente en el epitelio tubular del riñón y en el hígado. Estos tejidos blandos y la sangre, que después de un periodo de tiempo establecen un rápido equilibrio respecto al plomo, manifiestan una exposición reciente. Con el tiempo el plomo se redistribuye y deposita en huesos, dientes y cabello; en ancianos también puede localizarse en tejidos blandos. La figura 2 señala los distintos órganos en que el plomo se distribuye y se deposita en el organismo humano.

Las rutas que sigue el plomo en el organismo son similares a las del calcio; el plomo tiene una fuerte tendencia a localizarse y acumularse en los huesos, los cuales reflejan la exposición humana acumulativa a largo plazo (5,13).

Aproximadamente el 95% del plomo corporal se encuentra en tejido óseo, acumulado en forma de quelatos; el cual mantiene los niveles de plomo sanguíneo elevados, aún después de cesar la exposición; debido a la similitud en el comportamiento metabólico entre el calcio y el plomo (40).

El depósito de plomo en los huesos es semejante al de calcio, pero se deposita como fosfato terceario de plomo. El plomo de las sales óseas no contribuye a la toxicidad. Sin embargo, en algunos casos el plomo depositado en los huesos puede causar una reintoxicación si se altera el metabolismo de calcio-fósforo. Después de una exposición reciente, la concentración del metal es, a menudo, mayor en los huesos planos que en los largos, aunque como regla general los huesos largos contienen más plomo. En el primer periodo de deposición, la concentración de plomo es máxima en la epífisis de los huesos largos, especialmente durante el crecimiento (13).

En los niños el sistema esquelético crece de una manera exponencial; en la primera infancia el esqueleto puede aumentar 40 veces su masa original y durante este periodo tiene una mayor capacidad para acumular plomo (35).

Los factores que afectan la distribución del calcio también afectan la del plomo. Una elevada ingesta de fosfato favorece el almacenamiento del plomo a nivel óseo, y una menor concentración en los tejidos blandos. Así, una ingesta escasa de fosfatos moviliza el plomo óseo y eleva su contenido en tejidos blandos, este mismo efecto se presenta cuando se eleva la ingesta de calcio sin aumentar la de fosfato (competición del calcio con el plomo por el fosfato).

La vitamina D promueve una deposición de plomo en los huesos cuando se dispone de fosfato; sino el depósito de calcio sustituye al plomo. La hormona paratiroidea y el dihidrotaquisterol movilizan al plomo acumulado a nivel óseo y, por lo tanto, se aumenta la concentración de plomo en sangre y su índice de excreción urinaria (13).

Una característica del plomo es que posee la capacidad de transpasar fácilmente la placenta y que en la sangre del recién nacido se tiene la misma concentración de plomo que en la sangre de la madre. También atraviesa la barrera hematoencefálica, pero sólo pequeñas cantidades de plomo inorgánico se acumula en el cerebro, en su mayor parte en la sustancia gris y en los gánglios basales (5).

Casi todo el plomo circulante se encuentra asociado con los eritrocitos y, únicamente, cuando su concentración es relativamente alta se presenta en una cantidad apreciable en el plasma (13).

Es importante mencionar que dependiendo de la naturaleza del compuesto de plomo se presentarán ciertas preferencias de distribución, así tenemos que el plomo inorgánico se acumula preferentemente en los huesos, luego se le encuentra especialmente en el hígado, los riñones y los músculos estriados; mientras que los compuestos orgánicos, tales como el tetrametilo y el tetraetilo de plomo, tienden a acumularse en el hígado (5).

### **3.7 ELIMINACION**

La vida media del plomo en la sangre es de 1 a 2 meses (y así se logra un estado basal a los 6 meses). En el tejido blando es aproximadamente de 1 mes. En el tejido óseo existen reservorios movilizables, sin embargo, esta acción tardaría años puesto que la vida media del plomo en el hueso es de 20 a 30 años (5, 13).

El índice de excreción del plomo es limitado, incluso con un pequeño aumento en la ingesta diaria puede producir un balance positivo de plomo. La ingesta diaria de plomo es de 0.3 mg, aproximadamente, y el balance positivo comienza con una ingesta de 0.6 mg/día. Esta cantidad no produce comúnmente toxicidad franca durante toda la vida, pero el tiempo para acumular cantidades tóxicas se abrevia desproporcionadamente al aumentar la cantidad ingerida.

La eliminación de plomo ingerido se hace principalmente como reflejo de la pobre absorción a nivel intestinal, en cambio, la eliminación del plomo absorbido por el organismo se lleva a cabo a través de la orina en un 75%, por secreciones

gastrointestinales en un 16% , por cabello, uñas y sudor en un 8%, y probablemente, el 1% restante sea por saliva. A manera de resumen, la figura 2 esquematiza, en forma simple, las vías de excreción del plomo, así como los valores, expresados el porcentaje, con los cuales contribuye cada vía en la eliminación del metal. El plomo es también secretado por la leche materna en una concentración similar a la del plasma.

La excreción urinaria es la vía más importante y la concentración de plomo en la orina es proporcional a la plasmática. Sin embargo, como casi la totalidad del plomo de la sangre se encuentra en los eritrocitos, muy poco es lo que se filtra (13).

### 3.8 MECANISMO DE ACCION

El plomo ejerce su toxicidad por tres mecanismos:

- Compitiendo con los metales esenciales (especialmente el calcio y el zinc) en sus sitios de inserción. Por lo que los desplaza de sus funciones, principalmente al calcio.

- Altera la forma y función de las proteínas puesto que posee afinidad por los grupos sulfhidrilos (- SH); y dado que numerosas proteínas son enzimas, las alteraciones fisiológicas pueden ser muy generalizadas. La unión que se establece con los grupos sulfhidrilos es covalente.

- Actúa alterando el transporte de iones esenciales.

La presencia del plomo impide la biosíntesis del grupo hemo, evitando que el hierro se inserte en el lugar correspondiente para la formación de dicho grupo. En estas circunstancias se acumula la protoporfirina y el lugar del hierro queda ocupado por el zinc.

Las enzimas necesarias para la síntesis del grupo hemo tienen amplia distribución en los tejidos de los mamíferos, y es muy probable que cada célula sintetice su grupo hemo para incorporarlo a proteínas como la hemoglobina, la mioglobina, citocromos y catalasas. El plomo inhibe claramente la formación del grupo hemo en varios puntos, en la figura 3, se muestra el esquema de la biosíntesis de este grupo y los sitios en los cuales el plomo interacciona, a nivel enzimático.

La inhibición por plomo de la delta-aminolevulínico (delta-ALA) deshidratasa y de la ferroquelatasa, que son enzimas dependientes de los sulfhidrilos, está bien documentada.

Se realizó un estudio sobre el análisis cromosómico en personas que se encuentran expuestas a la contaminación por plomo. Tal estudio menciona que conforme se aumenta el tiempo de exposición a la contaminación por el metal, el número de aberraciones en cromátidas y cromosomas, es significativamente mayor, respecto a un grupo testigo. Por lo que se debe considerar que la exposición y, por lo tanto, la absorción de plomo conlleva a sufrir alteraciones a nivel de material genético (11).

### **3.9 INTOXICACION**

El plomo es un inhibidor de numerosas enzimas y esto constituye el fundamento de los diversos efectos tóxicos que se reflejan en la clínica y el laboratorio.

El plomo es un agente tóxico que se acumula progresivamente en el organismo humano, lo que condiciona que el cuadro clínico de intoxicación plúmbica sea, en la mayoría de los casos, de instalación lenta (5).

La clínica de las intoxicaciones por plomo es variable, según la vías de ingreso, la cantidad absorbida, el tiempo de exposición y las características propias del individuo expuesto. Además, tiene relación con el tipo de exposición ocupacional o no ocupacional.

Debido a la inespecificidad de los síntomas y signos de la intoxicación plúmbica, la identificación adecuada del cuadro clínico resulta difícil en ausencia del dato sobre exposición al plomo.

La intoxicación por plomo puede ser aguda, o más comúnmente, crónica (saturnismo). Ocupando esta última, en las estadísticas del Instituto Mexicano del Seguro Social, el tercer lugar en frecuencia en enfermedades de trabajo y representa el 12% del total (22).

La intoxicación es aguda en casos raros por la ingestión de una dosis única excesivamente grande de sales de plomo (asarcón).

La intoxicación crónica se presenta por la exposición repetida a dosis bajas de compuestos inorgánicos de plomo, generalmente por periodos de tiempo prolongados. La intoxicación crónica por compuestos inorgánicos de plomo se manifiesta por tres grandes síndromes:

- Gastrointestinal
- Neuromuscular
- Encefalopático

La intoxicación puede ser desencadenada por la ingestión de bebidas alcohólicas, infecciones agudas, ejercicios extenuantes, descompensaciones metabólicas, exposición laboral excesiva o por la combinación de algunos de éstos que de alguna manera rompen el equilibrio ya establecido entre la concentración de plomo acumulado en el organismo, principalmente en hueso y riñón.

#### **3.9.1 INTOXICACION POR COMPUESTOS ORGANICOS DEL PLOMO**

En la intoxicación por compuestos orgánicos predomina un cuadro psiquiátrico. Los síntomas son los mismos en niños y en adultos; los más comunes en una intoxicación aguda son: alucinaciones, temblor, delirio, insomnio, cefaleas y cambios bruscos de humor. El cuadro crónico se presenta con anorexia, náuseas, cefalea, sudoración, hipotermia, irritabilidad, hipertonia de músculos faciales (5).

También puede presentarse dolor abdominal, astenia, constipación, diarrea, parestesia, vómito, vértigo, debilidad muscular, pérdida de peso, artralgias, dispepsia y sabor metálico en la boca (22). Además de otros, tales como: encefalopatía, convulsiones, mialgias, hipotensión, taquicardia.

Aunque los compuestos alquílicos del plomo presentan mayor letalidad que los inorgánicos, la recuperación de los sobrevivientes es bastante completa.

El tetraetilplomo y el tetrametilplomo son compuestos liposolubles y se absorben fácilmente por la piel, el tracto gastrointestinal y los pulmones. Es conveniente señalar que los problemas ambientales y de salud asociados al plomo, identificados y estudiados en el contexto mundial, se refieren a los compuestos inorgánicos del plomo y al plomo metálico (5).

### **3.9.2 INTOXICACION POR COMPUESTOS INORGANICOS DEL PLOMO**

Los síntomas de intoxicación por sales inorgánicas de plomo en niños, se manifiesta por aturdimiento, desazón, irritabilidad, vértigo, vómito, cefaleas, visión nublada, temblor muscular, síntomas gastrointestinales, ataxia, estupor, fatiga, alucinaciones, pérdida de la memoria y de la capacidad de concentración. También se ha demostrado que el plomo disminuye el rendimiento intelectual y causa diversas alteraciones en la conducta, aún con concentraciones relativamente bajas en la sangre. Los casos graves pueden presentar delirios, manías, convulsiones, parálisis y coma (5, 7).

En los niños, especialmente en los menores de 5 años, se ven característicamente deterioradas las habilidades adquiridas en el desarrollo psicomotriz, tales como el control de esfínteres y la coordinación psicomotriz.

Las lesiones en el sistema nervioso central se producen a nivel citológico y pueden tornarse irreversibles. En los casos en donde ha habido muerte por intoxicación plúmbica se pudo observar edema cerebral y alteraciones en los vasos sanguíneos. Las secuelas más graves de estas lesiones son la atrofia cortical, hidrocefalia, convulsiones e idiocia. Otras secuelas menos perceptibles son la disminución de la capacidad de aprendizaje, incoordinación motriz, falta de percepción sensorial o incapacidad para concentrarse.

La intoxicación por plomo y sus compuestos inorgánicos o saturnismo es un padecimiento que en la infancia tiene un índice de mortalidad superior al 50% y que en los sobrevivientes deja secuelas neurológicas permanentes (25).

### **3.9.3 INTOXICACION AGUDA**

La intoxicación aguda es aquella que se produce por la administración de cantidades elevadas de un agente químico en una o varias veces, en un periodo de 24 horas o menor produciendo un efecto nocivo de inmediato, que se aprecia por la aparición de signos y síntomas característicos dependientes del agente químico responsable.

La intoxicación aguda por plomo se debe a la ingestión de compuestos de plomo solubles en ácidos o a la inhalación de vapores de plomo. En la boca por acciones locales se producen: astringencia, sed y un sabor metálico. Luego hay náuseas, dolores abdominales y vómitos, que pueden ser lechosos por la presencia de cloruro de plomo. Las heces pueden ser negras por el sulfuro de plomo, y puede haber diarrea o constipación (13).

Si grandes cantidades de plomo se absorben rápidamente, puede desarrollarse un síndrome de shock secundario a la abundante pérdida gastrointestinal de líquido.

Los síntomas agudos del sistema nervioso central incluyen parestesia, dolor y debilidad muscular. A veces se produce una crisis hemolítica aguda que causa anemia y hemoglobinuria. Los riñones sufren daños, y hay evidente oliguria y cambios urinarios. La muerte puede ocurrir en 1 o 2 días. Si el paciente sobrevive al episodio agudo, es probable que aparezcan signos y síntomas característicos de intoxicación crónica por plomo (13).

### **3.9.4 INTOXICACION CRONICA**

La intoxicación crónica es la que se produce por la administración de pequeñas cantidades de un agente químico durante periodos largos, pudiendo aparecer efectos nocivos de inmediato o después de cada aplicación o efectos crónicos.

Para muchos agentes químicos, los efectos tóxicos de la intoxicación aguda son muy diferentes a los observados luego de una intoxicación crónica.

La intoxicación crónica constituye, en resumen, la situación más frecuente y, con mucha probabilidad, el problema epidemiológico de mayor importancia.

Los signos y síntomas de envenenamiento crónico por plomo (saturnismo) pueden dividirse en las siguientes categorías: gastrointestinal, neuromuscular, del sistema nervioso central, hematológico, renal, entre otros.

Pueden aparecer juntos o por separado. Los síndromes neuromuscular y el sistema nervioso central tienden a resultar después de una exposición intensa, y el síndrome abdominal es una manifestación más común de una intoxicación de desarrollo muy lento e insidioso (13).

Las manifestaciones tóxicas se hacen evidentes a la exploración física, observando palidez terrosa, adelgazamiento o caquexia y actitud forzada antiálgica, también puede observarse el signo de Burton que consiste en la pigmentación azul violácea de los bordes gingivodentarios, debido a la acumulación de sulfuro de plomo producido por acción bacteriana (7).

Un aspecto relativamente reciente que incide en la clínica de las intoxicaciones por plomo corresponde a los cuadros subclínicos de la intoxicación, producidos por concentraciones relativamente bajas de plomo en el ambiente o causados por plomo proveniente de fuentes ambientales atípicas e insospechadas, bajo un proceso de exposición mantenida a largo plazo. Tales condiciones pueden provocar morbilidad e incluso mortalidad en ausencia de los síntomas y signos clásicos de la intoxicación por plomo. Este fenómeno se da de preferencia en la población general y el daño neuropsicológico en los niños es un ejemplo claro de ello.

## **3.10 EFECTOS TOXICOS DEL PLOMO**

Los niveles que se ven afectados por el envenenamiento crónico por plomo son :

- Gastrointestinal
- Neuromuscular
- Del Sistema Nervioso Central
- Hematológico
- Renal
- Ocular
- Reproductivo
- Endócrino
- Cardiovascular

En los párrafos siguientes mencionaremos los efectos que tiene el plomo sobre cada uno de los niveles que se han mencionado.

### **3.10.1 EFECTO GASTROINTESTINAL**

El plomo afecta el músculo liso del intestino produciendo síntomas intestinales que son un importante signo inicial de exposición al metal. El síndrome abdominal comienza a menudo con síntomas vagos como anorexia, molestias musculares, malestar y cefalea. La constipación es generalmente un signo temprano, especialmente en adultos, pero ocasionalmente se puede presentar diarrea. Al principio del síndrome se presenta un sabor metálico persistente. Conforme va avanzando la intoxicación, la anorexia y la constipación se hacen más intensos. El espasmo intestinal, que produce un gran dolor abdominal, o cólico saturnino, es el rasgo más angustioso del síndrome abdominal avanzado. Los ataques son paroxístmicos y generalmente muy dolorosos. Los músculos abdominales se hacen rígidos y la hipersensibilidad se manifiesta principalmente en la región umbilical (13).

El cólico saturnino es difuso y continuo que va de una intensidad moderada a elevada, es progresivo y sin irradiaciones características, no remite espontáneamente ni se modifica con la ingestión de analgésicos, sin embargo, mejora con la posición de gatillo, generalmente se acompaña de constipación y es fácilmente confundido con un cuadro de abdomen agudo (7).

En casos en los cuales el cólico no es severo el alejamiento del paciente del ambiente en donde quedó expuesto puede ser suficiente para aliviar los síntomas.

Se ha hecho mención de que el cólico puede manifestarse, incluso, en exposiciones a concentraciones bajas de plomo (7, 13).

### **3.10.2 EFECTO NEUROMUSCULAR**

Es una manifestación de intoxicación subaguda avanzada. Se presenta debilidad muscular, mialgias, dolor en huesos largos y articulaciones con ausencia de



reacción inflamatoria y, además, hay fácil fatigabilidad mucho antes de que ocurra la parálisis verdadera; pudiendo ser éstos, los únicos síntomas. La debilidad o la parálisis pueden no ser evidentes hasta después de realizar actividades musculares prolongadas. Los grupos musculares afectados son generalmente los más activos como los extensores del antebrazo, las muñecas y los dedos, los músculos oculares extrínsecos; produciéndose la parálisis, a menudo, sólo del lado dominante. La mano péndula y en menor grado los pies péndulos se han considerado casi patognómicos del envenenamiento por plomo. No hay compromiso sensitivo. Se han descrito cambios degenerativos en las neuronas motoras y sus cilindroejes.

Sólo las neuropatías severas se acompañan de alteraciones sensitivas.

Los efectos del plomo sobre el sistema nervioso periférico son adversos tanto en la estructura como en la actividad colinérgica del nervio. El daño es neurofisiológicamente detectable en forma temprana mediante la disminución de la velocidad de la conducción motriz la cual se empieza a mostrar cuando hay concentraciones de plomo en la sangre de 30 µg/dL. (7, 13, 15).

### **3.10.3 EFECTO SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL**

El sistema nervioso central es el principal blanco de numerosos metales, el plomo es bien conocido por sus efectos neurológicos y el comportamiento humano. Ciertos derivados alquílicos de plomo son especialmente neurotóxicos. En la exposición prolongada al plomo, en niños, pueden observarse efectos importantes sobre el sistema nervioso central producidos por concentraciones tan bajas en sangre como, por ejemplo, 10 µg/dL, denominadas subtóxicas, causando el cuadro denominado encefalopatía saturniana o por plomo, cuyos síntomas y signos varían desde cambios psicológicos o conductuales sutiles hasta alteraciones neurológicas graves.

La encefalopatía saturnina es la manifestación más seria de la intoxicación por plomo, siendo más común en los niños que en los adultos. Las primeras claves del desarrollo del síndrome pueden ser torpeza, vértigo, ataxia, caídas, cefalea, insomnio, inquietud, irritabilidad, embotamiento, desazón, visión nublada, temblor muscular, alucinaciones, pérdida de memoria y de la capacidad de concentración. Al desarrollarse la encefalopatía el paciente está primero excitado y luego confuso; sigue el delirio con convulsiones repetidas de gran mal epiléptico o letargo y coma. Los vómitos, un signo común, son generalmente en proyectil. También hay trastornos visuales.

Aunque los signos y síntomas son característicos del aumento de presión intracraneal, la craneotomía por colgajo para aliviar la presión intracraneal no es beneficiosa. Sin embargo, a veces es necesario el tratamiento del edema cerebral. Puede haber meningitis proliferativa, intenso edema, hemorragias puntiformes, gliosis y áreas de necrosis focal. Se ha observado desmielización en primates no humanos.

El índice de mortalidad en los pacientes con compromiso cerebral es aproximadamente 25% cuando el tratamiento quelante se inicia después de que han aparecido los síntomas de encefalopatía aguda. Alrededor del 40% de los

sobrevivientes tiene secuelas neurológicas como retardo mental, crisis francas, parálisis cerebral, atrofia óptica o distonía muscular deformante.

La exposición al plomo produce ocasionalmente un deterioro mental definido y progresivo en los niños. Los antecedentes de los más afectados indican un desarrollo normal durante los primeros 12 a 18 meses de vida o más, seguido de una pérdida sostenida de las habilidades motoras y del habla. Pueden tener severos trastornos hipercinéticos, conducta agresiva y convulsiones mal controladas. La falta de percepción sensitiva deteriora gravemente el aprendizaje. Se ha demostrado una mayor frecuencia de conducta hipercinética y una reducción en el coeficiente intelectual, estadísticamente significativa aunque moderada, en los niños de concentraciones sanguíneas de plomo de 30 a 50  $\mu\text{g}/\text{dL}$ .

Se ha reportado que en niños menores de 5 años se ven deterioradas las habilidades adquiridas en el desarrollo psicomotor, tales como: el control de esfínteres y la coordinación psicomotriz. Las lesiones en el sistema nervioso central se producen a nivel histológico y pueden tornarse irreversibles.

Los compuestos orgánicos, como son los tetraalquilos de plomo (tetraetilo y tetrametilo), se biotransforman en el organismo a trialquilos de plomo (neurotóxicos) y a plomo inorgánico, produciendo un cuadro psiquiátrico cuyos síntomas agudos más frecuentes son: alucinaciones, temblor, delirio, insomnio, cefaleas, sudoración, hipotermia, irritabilidad e hipertonia de músculos faciales. (7, 13, 15).

### 3.10.4 EFECTO HEMATOLOGICO

El grupo hemo está compuesto de un anillo de porfirina con un átomo de hierro ferroso instalado en una bolsa hidrofóbica cerca de la superficie. La formación del anillo de porfirina comienza en las mitocondrias, continúa en el citoplasma y luego regresa a la mitocondria para la incorporación del hierro. El paso final en la síntesis de la hemoglobina ocurre en el citoplasma; el grupo hemo abandona la mitocondria para combinarse con dos pares de globina en el citoplasma (18). La figura 3 corresponde a un esquema que indica los pasos que se llevan a cabo para la biosíntesis del grupo hemo; los compartimentos anteriormente mencionados, en los cuales se realiza tal evento; así como los sitios en los que el plomo interacciona.

La molécula hemo, además de conformar la hemoglobina, tiene importancia fisiológica porque forma parte de los citocromos respiratorios mitocondriales, de enzimas tales como la catalasa y la peroxidasa, de hemoproteínas tisulares (mioglobina) (5).

Unos de los primeros y más importantes efectos del plomo en el organismo humano es a nivel de la síntesis del grupo hemo. Puesto que el metal interacciona con enzimas involucradas en el ciclo de la síntesis de este grupo.

Esta alteración se manifiesta con la aparición en la sangre y orina de concentraciones anormales de sus precursores, y clínicamente por palidez acentuada (anemia). Siendo las mujeres y los niños más sensibles que los hombres a los efectos del plomo sobre la síntesis del grupo hemo.

En la figura 4, se indican las etapas enzimáticas de la biosíntesis del grupo hemo, en las cuales el plomo interfiere, las expresiones bioquímicas inducidas por la interferencia y el tipo de muestra que es recomendable para la evaluación de los cambios ocurridos. Estas interferencias tienen lugar en la médula ósea, en donde se observa una alteración en la producción de la hemoglobina y una estimulación de la eritropoyesis.

Como ya se mencionó, la anemia es una manifestación temprana de una intoxicación crónica y aguda de plomo, está casi comúnmente presente cuando se observan otros síntomas de la intoxicación por el plomo, por lo cual, se considera como un aspecto clínico de exposición crónica a bajos niveles de plomo.

La anemia inducida por el plomo, en los eritrocitos presentan ciertas características, entre las cuales tenemos:

- Microcítica e hipocrómica junto con deficiencia de hierro.
- Reticulocitosis
- Punteado basófilo.

La deficiencia de hierro puede ser un factor que coincide pero la anemia microcítica hipocrómica se ha observado en niños con intoxicación plúmbica a veces cuando el hierro es normal o elevado.

Cuando la concentración de plomo en la sangre alcanza cerca de 80  $\mu\text{g}/\text{dL}$  o más se observa punteado basófilo (acumulación de ácido ribonucleico) en los eritrocitos, lo cual se cree que es consecuencia de un efecto inhibitorio por parte del plomo sobre la enzima pirimidina-5'-nucleotidasa. No obstante, el punteado basófilo no es patognómico del saturnismo (13,20).

El punteado basófilo de los eritrocitos se ha reconocido como un aspecto de la anemia inducida por plomo y se ha empleado como método para detectar alteraciones en personas que laboran en la industria del plomo, pero tiene un inconveniente y éste

consiste en que carece de especificidad y no está correlacionado con los niveles de exposición al plomo.

El punteado basófilo es más común en las células que se encuentran a nivel de médula ósea que en aquellas que se encuentran en circulación. En un estudio quedó demostrado que hay efecto hemolítico del plomo directamente sobre los eritrocitos maduros que es independiente de los efectos sobre la biosíntesis del grupo hemo.

Se ha mencionado que grandes concentraciones de plomo in vivo (25 a 100 mg de plomo que son administrados por vía intravenosa) o agregados in vitro (20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  de sangre) produce contracción de los eritrocitos, distorsión y arrugamiento de la membrana de tales células; la anemia que se presenta por el envenenamiento por plomo resulta de dos defectos básicos:

- Corta vida eritrocítica
- Deterioro o alteración de la síntesis del grupo hemo.

Las concentraciones muy bajas de plomo influyen en la síntesis del grupo hemo. Las enzimas necesarias para dicha síntesis tienen amplia distribución en los tejidos de los mamíferos, y es muy probable que cada célula sintetice su propio hemo para incorporarlo a proteínas tales como: hemoglobina, mioglobina, citocromos,

catalasas y peroxidasas. Las enzimas, delta-aminolevulínico (delta-ALA) deshidratasa y la ferroquelatasa son inhibidas por la presencia de plomo.

La intoxicación por plomo en hombres y animales de experimentación se caracteriza por acumulación de protoporfirina IX y de hierro no hemo en los eritrocitos, acumulación de delta-ALA en el plasma y aumento de excreción urinaria del mismo.

También mayor excreción urinaria de coproporfirina III (el producto de oxidación del coproporfirinógeno III), pero no está aclarado si ello se debe a la inhibición de la actividad enzimática o a otros factores. La mayor excreción de porfobilinógeno y uroporfirina se ha observado sólo en casos severos. La forma de excreción de porfirinas que se encuentra en el envenenamiento por plomo difiere de la que es característica de los episodios sintomáticos de porfirina intermitente aguda y otros trastornos hepatocelulares. El aumento de la actividad de la delta-ALA sintetasa se debe a la reducción celular de la concentración del grupo hemo, que regula la síntesis de la delta-ALA sintetasa por inhibición de retroalimentación (7, 13, 20).

Las enzimas delta-aminolevulínico deshidratasa y la sintetasa son inhibidas a niveles de 0.2 a 0.4 mg/kg de plomo en sangre.

En normoblastos y eritrocitos se encuentran protoporfirina y coproporfirina libres. Estas porfirinas pueden representar síntesis incompleta o productos residuales que quedan después de que la síntesis del grupo hemo ha terminado. La concentración normal de protoporfirina libre (PEL) es de 13 µg/dL. La concentración de coproporfirina libre es aún menor, 0.5 a 1.5 µg/dL.

### **3.10.5 EFECTO RENAL**

Con respecto a el sistema urinario, se han observado cambios degenerativos en las células periféricas tubulares, normalmente causando hinchazón y algún grado de necrosis; las células agrupadas en los túbulos proximales son las más severamente afectadas. El cambio a nivel de túbulos proximales consiste en la formación de cuerpos de inclusión en células nucleadas con modificaciones funcionales en la mitocondria del túbulo renal. La lesión tubular está caracterizada por aminoaciduria generalizada, hipofosfatemia con hiperfosfaturia relativa y glucosuria. En trabajadores prolongadamente expuestos al plomo se encontró fibrosis peritubular e intersticial difusa, signos denominados como nefropatía saturniana crónica.

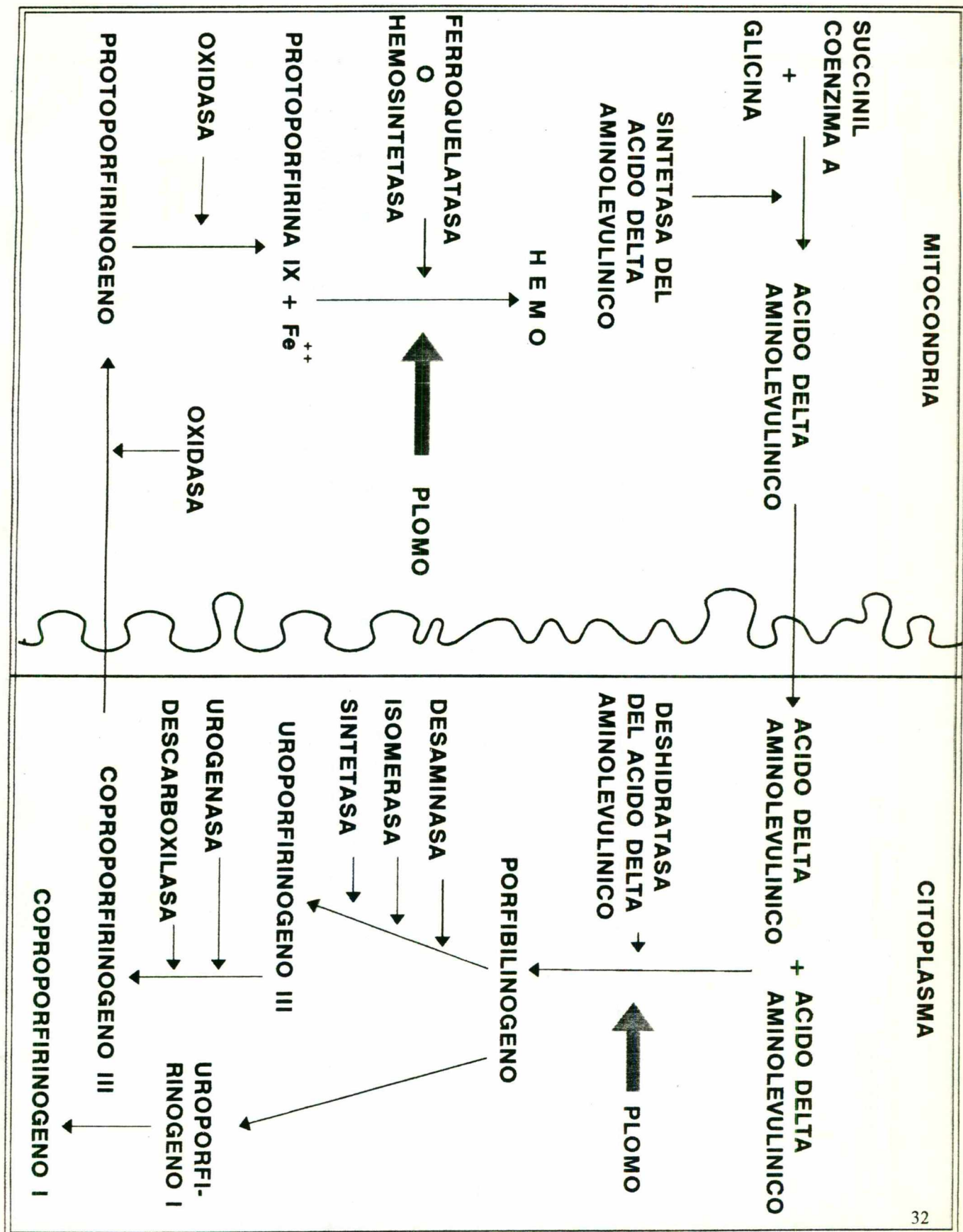
La toxicidad renal adopta dos formas :

- Un trastorno tubular renal reversible
- Una nefropatía intersticial irreversible.

La primera se observa generalmente en niños después de la exposición aguda al plomo; mientras que la segunda, es más común en la exposición crónica industrial al plomo.

Clínicamente se observa un síndrome semejante al de Fanconi, con proteinuria, hematuria y cilindros en la orina. En algunos pacientes la hiperuricemia puede estar acompañada por insuficiencia renal. Histológicamente se revela la nefropatía plúmbica por un cuerpo de inclusión nuclear muy característico, compuesto por un complejo de plomo-proteína, que aparece en los primeros estadios.

FIGURA 3. ESQUEMA DE LA BIOSINTESIS DEL GRUPO HEMO Y LOS SITIOS DE INTERACCION DEL PLOMO (5).



arteriosclerosis grado III; en 16 casos, disminución del reflejo arteriolar, en un caso, excavación de tipo glaucomatoso con rechazamiento de vasos sanguíneos hacia el sector nasal, en un caso una zona de atrofia retiniana postraumática, y por último, en siete casos paresia de los músculos oculomotores (24).

### **3.10.7 EFECTO SOBRE EL SISTEMA REPRODUCTOR**

Se han descrito en la mujer efectos como abortos, disfunción ovulatoria, mortinatos, parto prematuro y esterilidad y en el hombre, astenospermia, hipospermia y teratospermia, aunque en estos casos no se tienen datos concluyentes sobre el efecto del plomo (5).

### **3.10.8 EFECTO SOBRE EL SISTEMA ENDOCRINO**

Hay evidencia de que el saturnismo puede determinar deterioro de las funciones de la tiroides y de las suprarrenales, aunque faltan estudios concluyentes al respecto (5).

### **3.10.9 EFECTO SOBRE EL SISTEMA CARDIOVASCULAR**

De los efectos en este sistema asociados a la exposición al plomo, la hipertensión arterial es el que ha recibido mayor atención. Estudios recientes han aportado evidencias consistentes respecto a que la presión arterial elevada se encuentra asociada a altos niveles de plomo en el organismo humano de adultos, especialmente trabajadores. No obstante, a la fecha, parece que la contribución del plomo al fenómeno general de la hipertensión arterial sería menor en comparación con otros factores hipertensógenos tradicionalmente reconocidos.

No se sabe con certeza si los efectos vasculares, tales como: aumento de la permeabilidad capilar, alteraciones cerebrovasculares, aumento de la arterioesclerosis y apareamiento de hipertensión arterial se deben a la acción directa del plomo sobre los vasos o a la acción indirecta sobre los riñones.

De la misma forma, se han descrito casos de niños y adultos donde se observaron anomalías electrocardiográficas y miocarditis, aunque en estos casos no se haya dispuesto de datos concluyentes sobre un efecto cardiotóxico directo del plomo ni sobre la relación dosis-efecto (5).

### **3.10.10 CARCINOGENICIDAD Y TERATOGENICIDAD**

No hay datos indicativos de que la exposición a compuestos de plomo causen cáncer en el hombre. Las evidencias carcinogénicas del plomo son discutibles y están

un ambiente contaminado con el metal. El uso de edetato disódico de calcio ( $\text{CaNa}_2\text{EDTA}$ ) en su prueba de movilización ayuda a determinar si existe mayor carga de plomo corporal en los que se expusieron mucho antes. (7, 13, 20, 22).

### **3.12 DETERMINACION DEL PLOMO**

En los casos de exposición crónica a compuestos inorgánicos de plomo se reconocen dos tipos de pruebas de laboratorio que son útiles como auxiliares del diagnóstico clínico. Para su correcta interpretación médica es necesario considerar que ninguna de ellas caracteriza en forma unívoca el estado de intoxicación plúmbica, ya que no se ha observado relación directa entre algunos niveles y los datos clínicos. Estos son:

#### **3.12.1 INDICADORES DE ABSORCION DE PLOMO, METODOS DIRECTOS O DE DOSIS INTERNA.**

1. Plomo en sangre
2. Plomo en orina
3. Plomo en heces
4. Plomo quelable
5. Plomo en cabello
6. Plomo en dientes

Desde el punto de vista clínico, de los anteriores, la determinación de plomo en sangre es el indicador más importante, debido a que la mayor parte del plomo (90-95%) en la sangre está unida a eritrocitos. Se ha considerado a esta prueba como índice de primera elección para el diagnóstico de intoxicación o absorción del metal, aunque en la actualidad se cuestiona esta primacía. Existen varias técnicas de cuantificación, pero la más usada es la espectrometría de absorción electrotérmica, ya que entre otras ventajas, permiten realizar determinaciones de metales a nivel traza.

La concentración de plomo en sangre es el indicador biológico más apropiado para utilizarse en evaluaciones de exposición al plomo, tanto en la población laboral como en la población general.

También el plomo puede determinarse en pelo y en heces, pero prácticamente estos materiales son menos utilizados para tal objetivo.

#### **3.12.2 INDICADORES DE RESPUESTA BIOQUIMICA AL EFECTO DEL PLOMO, METODOS INDIRECTOS O DE EFECTO.**

De modo fundamental, se basan sobre la acción inhibitoria que ejerce el plomo sobre algunas enzimas involucradas en la biosíntesis del grupo hemo. Estas

pruebas reflejan el daño celular, mientras que la del plomo en sangre permite establecer un índice de absorción. A continuación se enumeran estos indicadores:

1. Coproporfirinas urinarias
2. Acido delta-aminolevulínico
3. Deshidratasa del ácido delta-aminolevulínico
4. Protoporfirina eritrocítica Zn
5. Hemoglobina
6. Reticulocitos
7. Punteado basófilo eritrocítico

Este segundo grupo de exámenes de laboratorio complementan al primero, pero su valor principal reside en que su positividad indica que el metal ha producido ya una alteración metabólica que se manifiesta y que eventualmente puede correlacionarse con un daño aparente en la salud. Puede notarse que tales determinaciones se han diseñado para valorar el estado funcional del sistema sintetizador del grupo hemo, lo cual, se debe a que parece ser el más sensible al metal en cuanto a tiempo de exposición y a la dosis.

Al iniciar la intoxicación por plomo es recomendable realizar la prueba de movilización, en la cual se utiliza el edetato disódico de calcio, ello con la finalidad de determinar la carga corporal de plomo en individuos expuestos a este metal. Esta prueba se realiza por infusión intravenosa, durante 1 hora, de 1 g del edetato disódico de calcio en 250 mL de una solución acuosa de dextrosa al 5%. Se recoge la orina de 4 días. El límite superior de excreción de plomo en adultos es de 600  $\mu\text{g}$  en estas condiciones. Esta prueba no se utiliza en pacientes sintomáticos ni en aquellos cuyas concentraciones de plomo en la sangre superan a los 100  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , porque estos pacientes requieren de un régimen terapéutico apropiado con agentes quelantes (4, 7, 13, 20, 22).

### 3.13 LIMITES

Los niveles de concentración del plomo encontrados normalmente en la población varían entre 10-35  $\mu\text{g}/\text{dL}$  de sangre, con una media de 17  $\mu\text{g}/\text{dL}$  de sangre.

Los límites establecidos de exposición al plomo se han tomado en base a las diferentes fuentes de exposición y a la suma total de las cantidades con que cada una de ellas contribuye efectivamente a la cantidad final de plomo que va a ingresar y ser absorbida por el organismo.

Es importante tener presente que, en el caso particular de plomo, los límites históricamente observados o establecidos para diferentes efectos tienden en la actualidad a ser ajustados a valores más bajos, o sea, a ser más estrictos, a medida que las mediciones experimentales y clínicas cada vez más sensibles van detectando efectos adversos de importancia a concentraciones menores de plomo en sangre. Así, antes de 1960 se creía que las concentraciones sanguíneas inferiores a 60  $\mu\text{g}/\text{dL}$  no eran peligrosas. Sin embargo, el avance en los estudios ha motivado para que



gradualmente se modifiquen los criterios de toxicidad. Alrededor de 1978 el límite máximo permisible en la sangre se redujo a 40 µg/dL para adultos y 25 µg/dL para niños. En 1980 la Organización Mundial de la Salud propuso como límites máximos tolerables de plomo en sangre los valores de 40 µg/dL y de 30 µg/dL para hombres trabajadores y para mujeres trabajadores embarazadas, respectivamente. Más recientemente, 1991, se han recomendado valores límite de 20 µg/dL en adultos y 10 µg/dL en niños (5, 42).

El establecimiento de un valor umbral límite para el plomo en el aire en los ambientes de trabajo no implica que con concentraciones por debajo de este valor no se produzcan efectos adversos en los expuestos, sino que dicho valor debe considerarse como guía o referencia para proteger a los trabajadores expuestos. En el caso del plomo, el complemento de una vigilancia biológica sistemática orientará sobre el límite de plomo en el aire más apropiado para cada población.

**TABLA 4. VALORES LIMITES DE PLOMO PARA AMBITOS OCUPACIONALES (5).**

TLV-TWA	0.15 mg/m <sup>3</sup> , valor promediado para plomo, compuestos inorganicos, polvos y humos (EUA, 1984).
TLV-TWA	0.10 mg/m <sup>3</sup> , valor promedio para compuestos orgánicos (EUA).
STEL	0.45 mg/m <sup>3</sup> , para 15 minutos para humos y polvo con plomo inorgánico (EUA, 1983)
TLV	0.2 mg/m <sup>3</sup> (EUA, 1981).
TLV	menos de 0.1 mg/m <sup>3</sup> (EUA, 1978).
TLV-TWA	variable de 30-60 µg/m <sup>3</sup> , 60 µg/m <sup>3</sup> y 40 µg/m <sup>3</sup> para hombre y mujer en edad fértil respectivamente (OMS, 1980).

Observe en el apéndice el significado de las abreviaturas utilizadas en la tabla 4.

En cuanto a la exposición ocupacional se han establecido márgenes de riesgo para algunos indicadores biológicos como se muestra la tabla 5.

**TABLA 5. NIVELES DE RIESGO ANTE LA EXPOSICION AL PLOMO SEGUN LOS VALORES DE ALGUNOS INDICADORES BIOLOGICOS SELECCIONADOS (5).**

INDICADOR	GRADO DE RIESGO			
	Normal	Aceptable	Excesivo	Peligroso
Pb-S (µg/dL)	< 10	40 - 80	80 - 120	> 120
AAL-U (mg/mL)	< 6	6 - 20	20 - 40	> 40
CP-U (µg/mL)	< 150	150 - 500	500 - 1500	> 1500
Pb-U (µg/L)	< 80	80 - 150	150 - 250	> 250

Observe en el apéndice el significado de las abreviaturas utilizadas en la tabla 5.

**TABLA 6. VALORES NORMALES DE PLOMO PARA LA REPUBLICA MEXICANA DE ACUERDO AL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL (7).**

Plomo en sangre	12.2 - 21.8 µg/100 g
Plomo en orina	15.4 - 28.6 µg/L
Coproporfirinas en orina	Negativas
Acido delta-aminolevulínico en orina	0.44 - 0.88 mg/dL

Observe en el apéndice el significado de las abreviaturas utilizadas en la tabla 6.

El establecimiento de los límites ambientales está de acuerdo con las concentraciones que se han verificado en varias partes del mundo y con las cuales no se han detectado efectos adversos en la salud de la población expuesta. A diferencia de los límites ocupacionales, que han sido objeto de frecuentes estudios de diferente naturaleza y de constantes evaluaciones, los límites ambientales todavía necesitan de mayores evaluaciones. Con el tiempo, éstos podrán sufrir alteraciones importantes debido a nuevos hallazgos o cambios de las condiciones en que hoy se presenta el plomo, como por ejemplo en lo que se refiere a su utilización como antidetonante en la gasolina. Actualmente se han establecido valores límites para el plomo en los ámbitos no ocupacionales.

**TABLA 7. VALORES LIMITES PARA PLOMO EN AMBITOS NO OCUPACIONALES (5).**

Agua potable	0.025 mg/L (NOM-127-SSA1-ECOL/94)
Suelo	Hasta 25 mg/kg
Alimentos	3 mg/persona adulta/semana (se refiere a la ingestión semanal tolerable. No se ha fijado un valor equivalente para niños) (FAO/OMS, 1972 y 1978).
Aire	2 µg/m <sup>3</sup> (concentración media anual) (CEE, 1987)
Aire	0.7 µg/m <sup>3</sup> (URSS, 1978)
Aire	2 µg/m <sup>3</sup> (EPA, EUA)

Observe en el apéndice el significado de las abreviaturas utilizadas en la tabla 7.

En relación al plomo se dispone de antecedentes suficientes como para recomendar la aplicación de métodos de monitoreo biológico que permitan detectar ya sea una dosis interna excesiva, o bien, la carga corporal del metal.

Cabe señalar, a modo de comentario general, que en ambientes laborales el establecimiento de un nivel biológico máximo de plomo en la sangre, debe basarse en la información sobre efectos en la salud y no en las correlaciones de plomo en el aire con plomo en sangre. Una vez definido en función de la salud, el límite biológico para el plomo en sangre, puede inferirse un valor límite correspondiente para concentraciones de plomo en el aire.

## INDICADORES:

a) Plomo en sangre:

- Límite de tolerancia biológica (LTB) de 20  $\mu\text{g/dL}$  para hombres adultos y para mujeres en edad fértil y de 10  $\mu\text{g/dL}$  para niños (42).

b) Plomo en orina, la OMS (1980) no recomienda usar este indicador para fines de vigilancia epidemiológica, no obstante se señala el siguiente valor:

- Límite de tolerancia biológica (LTB) para derivados inorgánicos de 150  $\mu\text{g/g}$  creatinina.

c) Acido delta-aminolevulínico en orina: LTB de 10 mg/g creatinina.

d) Protoporfirina libre de eritrocitos: LTB de 300  $\mu\text{g/dL}$ .

e) Zinc protoporfirina: LTB de 12.5  $\mu\text{g/g}$  hemoglobina.

f) Coproporfirina en orina: LTB de 250  $\mu\text{g/g}$  creatinina.

g) Plomo en cabello: LTB de 70  $\mu\text{g/g}$ .

Otros Indicadores son: Deshidratasa del ácido delta-aminolevulínico, Protoporfirina Eritrocítica Zn, Hemoglobina, Reticulocitos y Punteado Basófilo Eritrocitario (5).

# 4. OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

❖ Determinar la concentración de plomo en sangre por espectrometría de absorción electrotérmica en personas relacionadas con la fabricación de alfarería en las comunidades de Boxasni y La Magdalena en el municipio de Cadereyta, Querétaro. Así como, determinar si tal actividad contribuye a alcanzar los niveles de plomo encontrados; además de, observar la aportación de datos obtenidos a partir de la evaluación de ciertos parámetros hematológicos y el diagnóstico médico con respecto a la concentración de plomo obtenida.

## OBJETIVOS PARTICULARES

❖ Seleccionar dos poblaciones, una considerada como expuesta al plomo por estar relacionada con la fabricación de alfarería (grupo población) y otra ajena a actividades que cuestionen la exposición ocupacional al tóxico ( grupo testigo).

❖ Determinar la concentración de plomo en sangre por espectroscopía de absorción electrotérmica en personas relacionadas con la fabricación de alfarería.

❖ Lograr la participación de los miembros de las poblaciones seleccionadas: Boxasni y La Magdalena, como grupo población, en el municipio de Cadereyta, Qro.; y Tarimoro, Gto., como grupo testigo.

❖ Realizar una encuesta dirigida a las personas sometidas a estudio para determinar su estado general de salud.

❖ Cuantificar el contenido de plomo en sangre por espectroscopía de absorción electrotérmica en las personas sometidas al estudio.

❖ Establecer si la población relacionada con la fabricación de alfarería cuenta con una fuente de exposición al plomo ausente en la población testigo.

❖ Comparar los niveles de plomo en sangre obtenidos con los límites máximos tolerables sugeridos por la Organización Mundial de la Salud. Así como conocer el grupo en el cual la incidencia de valores de concentración de plomo que superan tales límites es mayor (grupo más expuesto)

❖ Determinar los parámetros hematológicos siguientes: concentración de hemoglobina, hematocrito, concentración media de hemoglobina corpuscular, recuento de reticulocitos y presencia de células con punteado basófilo; condicionándose las dos últimas determinaciones a las tres primeras y a la concentración de plomo en sangre. Lo anterior con la finalidad de conocer si se manifiestan posibles efectos a nivel hematológico por la concentración de plomo encontrado en el monitoreo biológico.

❖ Establecer un diagnóstico médico a partir de la información contenida en la encuesta y los parámetros hematológicos evaluados, intentando relacionarlo con la concentración de plomo en sangre.

❖ Sugerir a las autoridades competentes el establecimiento de programas de información dirigidos al mejoramiento laboral de los alfareros, así como de medidas de seguridad y alternativas que permitan eliminar, o bien, reducir a un mínimo, la incorporación del plomo al organismo. Además de proporcionar la atención y el tratamiento adecuados a las personas con niveles altos de concentración de plomo en sangre.

## 5. HIPOTESIS

### HIPOTESIS

❖ Las personas relacionadas con la fabricación de alfarería en las comunidades de Boxasni y La Magdalena en el municipio de Cadereyta, Qro., muestran valores de concentración de plomo en sangre superiores a los miembros evaluados en Tarimoro, Gto., quienes son ajenos a tal actividad.

❖ La mayoría de las personas relacionadas con la fabricación de alfarería sobrepasan los límites máximos tolerables para plomo en sangre sugeridos por la Organización Mundial de la Salud y del Centro de Control de las Enfermedades del Departamento de Salud Pública de los Estados Unidos.

❖ El grupo con mayor riesgo de intoxicación por plomo es el constituido por menores de edad. Para este trabajo se considera como menor de edad, personas de 13 años o menos, (grupo A). Debido a la inmadurez a nivel membrana celular; a que el sistema esquelético en los niños crece de manera exponencial y, por lo tanto, tienen una mayor capacidad para acumular plomo; y a las características de exposición que se observan en estas comunidades.

❖ ¿ Es importante la aportación de los datos obtenidos a partir de los parámetros hematológicos evaluados y el diagnóstico médico, sobre la concentración de plomo en sangre determinada, a niveles superiores a los 80 µg/dL ?

## 6. METODOLOGIA

### 6.1 METODOS

Se seleccionaron las comunidades de Boxasni y La Magdalena en el municipio de Cadereyta, Querétaro, en las cuales la alfarería es una de las principales actividades económicas para los miembros de las mismas.

Se realizó la encuesta (cuyo formato se muestra en la siguiente página) y la evaluación del estado clínico, por parte de un médico, a las personas relacionadas con la fabricación de alfarería. La encuesta realizada proporciona datos personales y ocupacionales de este conjunto de personas sometidas a estudio, así como la presencia o ausencia de signos y síntomas, que en base a estudios previos, se han señalado como probables de manifestarse en el caso de existir intoxicación plúmbica; el formato de la citada encuesta se muestra en la siguiente página (sección 6.2).

Posterior a la encuesta y a la evaluación clínica de las personas (99), se procedió a tomar una muestra sanguínea (siguiendo los pasos y recomendaciones del método de punción venosa señalado en este trabajo), la cual se vertió en tubos vacutainer, con heparina sódica como anticoagulante. Después de la recolección de la muestra se procedió a la evaluación de la concentración de hemoglobina, el hematocrito, la concentración media de hemoglobina corpuscular y la concentración de plomo. Esta última evaluación condicionó a la realización de la búsqueda de células con punteado basófilo, la cual se llevaría a cabo en el caso de determinar concentraciones de plomo en sangre alrededor de los 70  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , o bien, superiores a este valor. Así mismo, la concentración de la hemoglobina, el hematocrito y, por consecuencia, la concentración media de hemoglobina corpuscular condicionaron la determinación del recuento de reticulocitos.

La determinación del plomo se realizó por medio de espectrofotometría de absorción electrotérmica, bajo las condiciones indicadas en los métodos, en el Centro de Estudios Académicos sobre la Contaminación Ambiental. Para tales evaluaciones se recurrió a la utilización de un programa de control de calidad que sugiere varias condiciones para considerar confiables los resultados obtenidos; entre las cuales tenemos: coeficiente de correlación, rango lineal, exactitud y precisión. Además, en este programa se incluyeron seis estándares certificados de plomo en sangre procedentes del Programa de Certificación del Centro de Control de las Enfermedades del Departamento de Salud de los Estados Unidos (CDC), que nos auxiliaron en la evaluación de la exactitud.

En México es difícil seleccionar una población libre de plomo, ya que es común el uso de vasijas de barro vidriadas, con materiales que contienen plomo, en la preparación y conservación de alimentos; sin embargo, con la finalidad de obtener una comparación en la concentración de plomo en sangre de personas relacionadas con la fabricación de alfarería y personas ajenas a esta actividad, pero con características geográficas y hábitos de alimentación semejantes, se realizó el monitoreo biológico de sólo 29 personas de Tarimoro, Guanajuato. No pudiéndose incrementar este número

por falta de muestras debido a que los habitantes no observaron la utilidad de esta evaluación.

Los resultados obtenidos se manipularon utilizando el paquete estadístico adecuado, para determinar las medidas de tendencia central, el diagrama de variabilidad de Box and Whisker y los datos para estructurar los histogramas de frecuencia. También se realizaron pruebas estadísticas, de comparación de medias y de desviaciones estándar, para establecer las posibles diferencias entre los grupos estudiados. Se anexan en el apéndice las tablas de t y F utilizadas para este último objetivo.

La evaluación de los parámetros hematológicos señalados se realizaron, de acuerdo a los métodos correspondientes, en el Laboratorio de la Especialidad en Bioquímica Clínica de la Facultad de Química.



## 6.2 FORMATO DE LA ENCUESTA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO  
CENTRO DE ESTUDIOS ACADEMICOS SOBRE  
CONTAMINACION AMBIENTAL  
TEL 15-17-05 FAX 15-17-05

ENCUESTA DIRIGIDA A LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA.

NOMBRE  
EDAD  
SEXO  
OCUPACION  
ANTIGUEDAD EN LA MISMA  
HORARIO DE TRABAJO  
ESCOLARIDAD  
PRESION SANGUINEA  
FRECUENCIA CARDIACA

MARCAR CON UNA "P" SI EL SIGNO O SINTOMA ESTA PRESENTE, CON "A" SI ESTA AUSENTE, CON "L" SI ES LEVE, CON "M" SI ES MODERADO, CON "I" SI ES INTENSO, CON "R" SI ES RARO, CON "F" SI ES FRECUENTE, EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE

SIGNO O SINTOMA	PRESENTE O AUSENTE	LEVE MODERADO O INTENSO	RARO O FRECUENTE
-----------------	--------------------------	-------------------------------	------------------------

CEFALEA  
COLICO ABDOMINAL  
CALAMBRES  
TEMBLOR  
ARTRALGIA  
MIALGIA  
IRRITABILIDAD  
NERVIOSISMO  
INQUIETUD  
VERTIGO  
NAUSEAS  
VOMITO  
CONSTIPACION  
ENTORPECIMIENTO  
DE EXTREMIDADES  
RIGIDEZ  
MOVIMIENTOS INVOLUNTARIOS  
INSOMNIO  
CONFUSION MENTAL  
CONVULSIONES  
SABOR METALICO  
ANOREXIA  
GASTRITIS  
ASTÈNIA  
DEBILIDAD  
PERDIDA DE PESO  
PALIDEZ  
R. GINGIVAL  
DE BURTON  
DISURIA  
ABORTOS  
PIORREA

MENCIONES SI PADECE ALGUN OTRO TIPO DE TRASTORNO O ENFERMEDAD,  
INDIQUELO(A). \_\_\_\_\_

## **6.3 MATERIAL Y EQUIPO**

### **MATERIAL Y EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DE PLOMO EN SANGRE**

Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer, modelo AAS-2380, equipado con horno de grafito modelo HGA-300 con corrector de lámpara de deuterio.

Matraces volumétricos de vidrio, Pyrex, de 50 mL.

Matraces volumétricos de vidrio, Pyrex, de 10 mL.

Centrífuga.

Refrigerador

Mezclador, Vortex.

Lámpara de cátodo hueco de plomo, Perkin-Elmer.

Micropipeta de volumen variable, Wilson, de 1 a 100  $\mu$ L.

Micropipeta de volumen variable, Wilson, de 100 a 1000  $\mu$ L.

Puntas blancas desechables para micropipeta, Lakeside. Paq/1000

Puntas azules desechables para micropipeta, Lakeside. Paq/1000

Tubos de polipropileno. Colstar. Paq/100.

Tubos de vidrio, Vacutainer, con heparina sódica. Paq./100

Tubos de grafito, Perkin-Elmer.

Papel parafilm

Papel aluminio

### **MATERIAL PARA LA PUNCIÓN VENOSA**

Torniquete o liga elástica

Jeringas desechables, Plastipak, de 3 mL. Cal 21-38.

Jeringas desechables. Plastipak, de 3 mL. Cal. 22-32.

Torundas de algodón.

### **MATERIAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA HEMOGLOBINA**

Espectrofotómetro Microlab 100, Merck.

Micropipeta electrónica

Tubos de ensayo 12X75

Tubos de ensayo 13X150

Pipeta volumétrica de 5 mL

Pipetas graduadas de 5 mL

Gradilla para tubos de 13X100

Perilla

Gasa

## **MATERIAL PARA LA DETERMINACION DE HEMATOCRITO**

Microcentrífuga

Tubos capilares para microhematocrito sin anticoagulante; longitud 75 mm, diámetro interno 1.1-1.2 mm y pared de 0.08-0.22 mm.

Gasa

Plastilina

## **MATERIAL PARA EL RECUENTO DE RETICULOCITOS**

Microscopio con objetivo de inmersión

Baño María

Portaobjetos

Pipetas Pasteur

Tubos de ensaye de 12X75

Gradilla

Papel parafilm

## **MATERIAL PARA DETECCION DE PUNTEADO BASOFILO**

Portaobjetos

Pipetas graduadas de 5 mL

Gasa

## **6.4 REACTIVOS**

### **REACTIVOS PARA LA DETERMINACION DE PLOMO EN SANGRE**

Estándar Sigma de 1000 ppm de plomo.

Estándares certificados de plomo en sangre procedentes del Programa de Certificación del Centro de Control de las Enfermedades del Departamento de Salud de los Estados Unidos (CDC).

Acido nítrico 65% suprapuro, marca CEM.

Pirofosfato de amonio (modificador).

Gas argón, Aga de México, 99.998 % de pureza.

Extrán líquido (alcalino), de Merck (5 litros).

Agua bidestilada y desionizada.

Agua tridestilada.

## **REACTIVOS PARA LA PUNCION VENOSA**

Alcohol etílico al 70 %

## **REACTIVOS PARA LA DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE HEMOGLOBINA**

Reactivo de Drabkin, Merck.

Solución de extrán al 10%

Solucion de metanol al 10%

Estandar de cianmetahemoglobina, Hycel 70117, 80 mg/dL.

Agua Destilada

## **REACTIVOS PARA EL RECUENTO DE RETICULOCITOS**

Azúl de cresilo brillante

## **REACTIVOS PARA LA DETECCION DEL PUNTEADO BASOFILO**

Colorante de Wright

Buffer para colorante de Wright

## **6.5 PUNCION VENOSA**

1. Identificar correctamente el tubo en el cual depositará la muestra de sangre. Escribir el nombre completo del paciente de quien procede la muestra.

2. Aplicar la cinta elástica (torniquete) en el brazo del paciente. El paciente deberá estar cómodamente sentado o recostado con su brazo apoyado sobre una superficie lisa.

3. Indicar a el paciente que cierre su puño y mantenga su brazo estirado y firme.

4. Proceder a la limpieza del lugar donde se ha seleccionado para puncionar, con una torunda impregnada con alcohol etílico al 70%. La limpieza se realiza de tal manera que se inicia del punto donde se ha de introducir la aguja y se prosigue hacia la periferia, de tal punto, siguiendo un movimiento de adentro hacia afuera y en forma circular procurando que no se toque el punto de punción con la torunda que ya ha tenido contacto con la periferia.

5. Revisar que la aguja esté fija a la jeringa y que el émbolo de ésta no se encuentre adherido, para lo cual no debe quitar el capuchón de la aguja, ni aspirar y liberar aire dentro del cuerpo de la jeringa, sino que debe empujar el émbolo para que éste corra la distancia que comúnmente se deja a la jeringa desechable comercial.

6. Practicar la punción.
7. Indicar a el paciente que abra su puño.
8. Liberar la cinta elástica.
9. Extraer la aguja de la vena
10. Presionar suavemente el lugar de la punción con una torunda alcoholada.
11. Recomendar a el paciente que mantenga la torunda sobre el punto donde se puncionó doblando el brazo por un periodo de aproximadamente 5 minutos.

#### NOTAS:

Indicar a el paciente que debe lavarse perfectamente con jabón y esponja la zona sobre la cual se realizará la punción y áreas vecinas.

Para evitar errores en la determinación de algunos de los parámetros involucrados en la fórmula roja, específicamente: Hemoglobina y Hematocrito, se debe tomar en cuenta lo siguiente: No dejar colocado el torniquete por un periodo superior a 1 minuto. Si se requiere mantener colocado el torniquete para la localización de la vena por un periodo superior al mencionado, proceda a retirar el torniquete después de localizar la vena y mientras realiza la asepsia del área, permita que la sangre circule normalmente. Justo antes de puncionar coloque nuevamente el torniquete y puncione.

La velocidad con la cual debe ser extraída la sangre debe ser aquella que permita evitar la formación de burbujas (al aspirar en forma rápida) y la coagulación parcial de la sangre (por aspiración demasiado lenta).

Al vertir, la sangre que ha sido extraída en el tubo con anticoagulante debe retirar la aguja de la jeringa y presionar el émbolo suavemente procurando que la salida de la sangre sea lenta y que escurra por las paredes del tubo. Proceda entonces a invertir con suavidad el tubo para mezclar la sangre con el anticoagulante y evitar así la formación de coágulos. Recuerde que no deben formarse coágulos y que por ningún motivo se agita el tubo con la muestra porque ello conduce a la hemólisis de la muestra. El tubo se invertirá por lo menos unas 15 veces.

## **6.6 PREPARACION Y ANALISIS DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE.**

### **6.6.1 PREPARACION Y LAVADO DEL MATERIAL**

- Lavar todo el material de vidrio, los tubos y el frasco de polipropileno perfectamente con extrán, utilizando un escobillón exclusivo para este material. Enjuague el material con agua potable.

- Sumergir todo el material en la solución de extrán al 10% (v/v) por un periodo de 24 h. Tapar el recipiente que contiene a tal material sumergido en la solución.

- Sacar el material y enjuagarlo perfectamente con agua tridestilada.

- Sumergir el material en una solución de ácido nítrico al 2% (v/v) y dejarlo por un periodo de 24 h. Tapar nuevamente el recipiente.

- Después de transcurridas las 24 h, sacar el material y enjuagarlo con agua tridestilada.

- Colocar el material en un lugar seco y libre de polvo hasta que se seque. Una vez seco, guardar el material hasta que sea utilizado, evitando que el polvo tenga contacto con el mismo.

## 6.6.2 SOLUCIONES

### SOLUCIONES PARA LA DETERMINACION DE PLOMO

#### SOLUCION 1. SOLUCION DE EXTRAN AL 10% (V/V).

\* Constituyentes

Extrán

Agua Potable

\* Preparación

Preparación de 1000 mL de la solución.

100 mL de extrán

900 mL de agua potable

Vierta los 100 mL de la solución de extrán a los 900 mL de agua potable.

#### SOLUCION 2. SOLUCION DE ACIDO NITRICO AL 2% (V/V).

\* Constituyentes

Acido Nítrico

Agua Tridestilada

\* Preparación

Preparación de 1000 mL de la solución

20 mL de ácido nítrico

980 mL de agua tridestilada

Agregue los 20 mL de ácido nítrico a los 980 mL de agua tridestilada.

#### SOLUCION 3. SOLUCION DE PIROFOSFATO DE AMONIO (MODIFICADOR)

\* Constituyentes

Pirofosfato de amonio

Agua Tridestilada

**\* Preparación**

Para la preparación de 100 mL de la solución.

50 mg de pirofosfato de amonio

100 mL de agua tridestilada

Coloque en un matraz aforado de 100 mL los 50 mg del pirofosfato de amonio y agregue unos 40 mL de agua tridestilada, disuelva perfectamente la sal y afore con el resto del agua tridestilada. Mida el pH de la solución con un potenciómetro calibrado. La solución deberá poseer un pH de 4.5, en el caso de que no sea así se procederá a ajustar el valor de pH utilizando ácido ortofosfórico.

**SOLUCION 4. SOLUCION DE ACIDO NITRICO-PIROFOSFATO DE AMONIO-AGUA (AL 20% EN ACIDO NITRICO).**

**\* Constituyentes**

Acido Nítrico Suprapuro

Solución de Pirofosfato de Amonio (Modificador)

Agua Tridestilada

**\* Preparación**

Preparación de 100 mL de la solución

20 mL de ácido nítrico suprapuro

2 mL de la solución de pirofosfato de amonio (Modificador)

78 mL de agua tridestilada

En un matraz aforado de 100 mL poner aproximadamente 70 mL de agua tridestilada, agregar 20 mL del ácido nítrico suprapuro y 2 mL de la solución de pirofosfato de amonio o solución 3, aforar con agua tridestilada y mezclar.

### **6.6.3 CURVA DE CALIBRACION**

Deberá realizarse una curva de calibración cada vez que se requiera llevar a cabo un análisis de plomo en sangre. Se requiere de la preparación de una solución madre de 5 mg/L y de tres estándares de 10, 20 y 40 µg/L. Estas soluciones se preparan de la siguiente manera.

#### **SOLUCION MADRE**

Tomar 50 µL de la solución patrón de 1000 mg/L de plomo y depositarlos en un matraz aforado de 10 mL. Aforar con agua tridestilada. Con ello se tendrá una solución de 5 mg/L de plomo.

#### **ESTANDARES**

Preparar estándares de 10, 20 y 40 µg/L de plomo.

La preparación de tales soluciones se realizan a partir de la solución madre, anteriormente señalada.

En la siguiente tabla se indican los volúmenes requeridos de los constituyentes para la obtención de los estándares con las concentraciones anteriormente señaladas.

**TABLA 8. PREPARACION DE ESTANDARES PARA LA CURVA DE CALIBRACION PARA PLOMO.**

ESTANDAR	SOLUCION MADRE	SOLUCION 4	CONCENTRACION
1	20.0 $\mu\text{L}$	Aforar a 10 mL	10.0 $\mu\text{L}$
2	40.0 $\mu\text{L}$	Aforar a 10 mL	20.0 $\mu\text{L}$
3	80.0 $\mu\text{L}$	Aforar a 10 mL	40.0 $\mu\text{L}$

El blanco lo constituye la solución anteriormente mencionada (Solución 4, solución de ácido nítrico-pirofosfato de amonio-agua).

Para construir la curva se deberá inyectar 10  $\mu\text{L}$  de cada uno de los estándares y del blanco. Cada estándar se inyectará en cuatro ocasiones, así como el blanco. De las cuatro lecturas obtenidas para cada estándar se determinará el valor promedio de las mismas y éste se graficará contra la concentración correspondiente de cada uno de los estándares. Para el blanco también se promedian las lecturas obtenidas y el valor promedio obtenido se coloca en cero de concentración de plomo en la gráfica.

Una vez graficados los puntos (Concentración vs Valor promedio de cada lectura en absorbancia) se procederá a determinar el coeficiente de correlación, el cual debe ser superior a 0.9900.

#### **6.6.4 PROGRAMA DE CALIDAD PARA LA DETERMINACION DE PLOMO EN SANGRE**

Este programa consiste en realizar las operaciones adecuadas para obtener resultados verdaderos. Para ello se tomaron como base seis estándares certificados de plomo en sangre procedentes del Programa de Certificación del Centro de Control de las Enfermedades del Departamento de Salud de los Estados Unidos (CDC). Con los cuales se realizará una evaluación de la curva de calibración, que se construye cada vez que se determine la concentración de plomo en sangre de un grupo de muestras y que deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. Coeficiente de correlación. Este debe ser igual o mayor a 0.9900.
2. Rango Lineal. En base a la curva y con el coeficiente de correlación se determina el rango máximo hasta donde la curva de calibración presenta la respuesta lineal.



3. Límite de Detección. Se evalúa la concentración mínima detectada con esta metodología, se esperaron valores menores a 1 µg/ dL de sangre.

4. En base a la metodología se establece el límite de cuantificación, es decir, la concentración mínima que se podría reportar.

La exactitud de los datos obtenidos se evalúa utilizando seis estándares certificados de plomo en sangre (96PB15, 96PB16, 96PB17, 96PB26, 96PB27 y 96PB28), procedentes del Programa de Certificación del Centro de Control de las Enfermedades del Departamento de Salud de los Estados Unidos (CDC). Esta determinación se realiza cada vez que se efectúa la curva de calibración.

La precisión (desviación estándar relativa) se determina para cada muestra, haciéndolo en dos diluciones y con tres determinaciones cada dilución. Esta debe ser menor o igual al 2%.

Se utiliza un blanco de reactivos y los estándares se analizan en tres ocasiones cada uno de ellos.

### **6.6.5 PREPARACION Y ANALISIS DE LAS MUESTRAS**

1. Preparar la cantidad suficiente de la solución de ácido nítrico-pirofosfato de amonio-agua, de acuerdo a el número de muestras que van a manipularse. Para cada muestra de sangre se requieren 800 µL de esta solución. Cada muestra sanguínea debe manipularse por duplicado.

2. En una gradilla colocar las muestras sanguíneas debidamente identificadas con dos tubos de polipropileno por cada muestra de sangre, igualmente identificados.

3. Agregar a cada tubo de ensaye de polipropileno 800 µL de la solución de ácido nítrico-pirofosfato de amonio-agua, utilizando para ello una micropipeta.

4. Homogeneizar perfectamente la sangre mediante un movimiento de inversión cuidadosa del tubo, realice tal movimiento por lo menos 20 veces. Nunca agitar el tubo con la muestra sanguínea.

5. Tomar con la micropipeta 100 µL de la sangre del paciente que ya ha sido correctamente homogeneizada y vertir en uno de los tubos de polipropileno que contiene 800 µL de la solución anteriormente señalada. Al vertir los 100 µL de la sangre procure depositarlos sobre el volumen de la solución ácida directamente y no por las paredes del tubo. Recuerde que cada muestra sanguínea se evaluará por duplicado.

6. Una vez agregada la muestra de sangre a cada tubo de polipropileno, correspondiente, se procede a someter a una agitación de los tubos para mezclar su contenido perfectamente, ello se realiza con el vibrador Vortex por un periodo de 30 s.

7. Someter a centrifugación a cada uno de los tubos que contienen la mezcla de la muestra sanguínea y la solución ácida, adecuadamente combinadas. El periodo de la centrifugación es de 5 minutos a una velocidad de 3500 rpm.

8. La parte que será utilizada para la detección y cuantificación del plomo es el sobrenadante, del cual se tomarán 10 µL, y se analiza mediante espectroscopía de absorción electrotérmica. Realizar al menos tres inyecciones de cada tubo.

9. Si se requiere realizar la cuantificación del plomo al día siguiente deberá guardarse el sobrenadante debidamente congelado, en un lapso no mayor de 24 h.

10. Las muestras deben ser leídas una vez que se haya efectuado la curva de calibración.

### 6.6.6 PARAMETROS INSTRUMENTALES UTILIZADOS EN EL HORNO DE GRAFITO

Los parámetros instrumentales utilizados para el horno de grafito son:

- Longitud de onda : 283.3 nm
- Abertura espectral (slit) : 0.7 nm
- Volumen de inyección : 10  $\mu$ L
- Corrector de fondo: Lámpara de Deuterio
- Gas de purga: argón al 99.999% de pureza

### 6.6.7 PROGRAMA DE TEMPERATURAS UTILIZADO EN EL HORNO DE GRAFITO.

El programa de temperaturas utilizado para el horno de grafito consta de cuatro pasos:

- a) Secado
- b) Cenizas
- c) Atomizado
- d) Limpieza

Durante estos pasos la temperatura es aumentada gradualmente.

**TABLA 9. PROGRAMA DE TEMPERATURAS PARA EL HORNO DE GRAFITO.**

PROCESO	SECADO	CENIZAS	ATOMIZADO	LIMPIEZA
Temp (° C)	120	520	2500	2800
Ramp ( s )	10	10	1	1
Hold ( s )	15	20	3	2
Record			start	
Read			start	
Stop Flow			start	

## 6.6.8 ANALISIS ESTADISTICO

Realizar la manipulación adecuada de los resultados obtenidos, a partir de la determinación de la concentración de plomo en sangre por espectrometría de absorción electrotrémica, utilizando un paquete estadístico, con la finalidad de determinar las medidas de tendencia central, la variabilidad de los resultados y los datos necesarios para la estructuración de histogramas de frecuencia.

Construir los histogramas de frecuencia y el diagrama de variabilidad de los resultados, que se requieran para la mejor apreciación de la tendencia de cada uno de los grupos y la variación de tales datos. Emplear el programa útil para tal objetivo.

Realizar pruebas estadísticas, de comparación de medias y de desviaciones estándar, para establecer las posibles diferencias entre los grupos estudiados. Utilizar las tablas de t y F, con  $\alpha = 0.05$  (95% de confiabilidad); anexadas en el apéndice.

## 6.7 DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE HEMOGLOBINA

1. Conectar el espectrofotómetro microlab 100, de Merck, y esperar unos 20 minutos.

2. Homogeneizar perfectamente la muestra sanguínea mediante inversión suave con un sistema automático durante un tiempo mínimo de 5 minutos o manualmente por inversión del tubo 20 veces.

3. Mediante la micropipeta electrónica o una pipeta de Shali, añadir 0.02 mL (20  $\mu$ L) de sangre homogeneizada a un tubo que contenga 5 mL del reactivo de Drabkin. Al realizar esta operación es fundamental eliminar el exceso de sangre que puede quedar en las paredes externas de la puntilla de la micropipeta antes de que sea introducida en el reactivo. Elimine completamente la sangre adherida a las paredes internas de la puntilla mediante aspiraciones y expulsiones consecutivas de la mezcla dentro del tubo.

4. Homogeneizar el contenido del tubo mediante inversiones (4-5 veces) evitando que se formen burbujas y esperar un mínimo de 5 minutos para que se produzca la hemólisis total y se complete la transformación de toda la hemoglobina en cianmeta-hemoglobina.

5. Lavar la celda de detección, de acuerdo a las indicaciones del manual correspondiente, primeramente con una solución acuosa de etrán al 5% y después con una solución acuosa de metanol al 5%, por tres ocasiones con cada una de ellas.

6. Realizar una curva de calibración utilizando el estándar comercial de cianmetahemoglobina, preparando cuatro estándares: 10.04, 13.39, 16.06 y 20.08 g/dL. Como blanco puede emplearse agua destilada o la propia solución de reactivo de Drabkin. La longitud de onda a la cual se trabaja para la evaluación de este parámetro es de 540 nm.

7. Introducir la aguja succionadora de muestra al tubo e indicar al aparato que succione la muestra (activando un botón). Esperar a que el aparato tome una porción de la muestra y señale que ha terminado, retirar el tubo de la aguja y esperar a que registre la concentración de hemoglobina en g/dL de sangre.

## 6.8 DETERMINACION DEL HEMATOCRITO

1. Llenar hasta un máximo de 3/4 partes de la capacidad del tubo capilar comercial con sangre total y sellar un extremo del mismo con plastilina.

2. Centrifugar el microtubo durante 5 minutos (o 10 minutos si el hematocrito es menor a 0.5). La temperatura no debe ser mayor a 40°C durante todo el tiempo que dure la centrifugación. El aparato utilizado será una microcentrífuga, la velocidad oscila entre 10,000 y 15,000 g, (donde g, en este caso particular, es un factor).

3. Finalizada la centrifugación, comprobar que no se haya producido la salida de sangre del capilar y extraerlo de la centrífuga. Para leer el resultado puede emplearse un lector de hematocritos, colocando el extremo inferior de la columna de sangre en la línea correspondiente a cero y el extremo superior en la línea correspondiente a 100. El valor del hematocrito puede leerse directamente sobre el lector. También, el hematocrito puede determinarse mediante una simple regla graduada, al dividir la distancia del paquete de glóbulos rojos entre la correspondiente a la sangre total, y multiplicando por cien, para expresarlo en por ciento. La determinación del hematocrito debe realizarse por duplicado y la diferencia entre los dos valores obtenidos no debe ser nunca superior a 0.01.

## 6.9 RECUENTO DE RETICULOCITOS

1. Mediante una pipeta Pasteur se añaden a un tubo tres gotas de solución colorante (solución de azul de cresilo brillante) y tres gotas de sangre total homogeneizada. En el caso de que el paciente tenga valores bajos de hematocrito, debe colocarse doble cantidad de sangre total que de solución colorante.

2. La suspensión (sangre/colorante) se agita suavemente y se deja a 37 °C durante 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se toma una pequeña gota de la suspensión y se extiende en un portaobjetos. No es necesario contrateñir, por lo que, una vez seca, la extensión puede ser observada al microscopio.

3. Mediante el objetivo de inmersión se busca, en primer lugar, en el área media del frotis, donde los eritrocitos se observen bien individualizados y regularmente distribuidos.

Debido a que la reproducibilidad de este método de recuento presenta coeficientes de variación relativamente elevados, es importante que se realice sobre el mayor número de eritrocitos. En general, se considera la cifra de 2,000 eritrocitos como

aceptable para deducir a partir de ella el porcentaje correspondiente a los reticulocitos observados.

#### 4. Cálculo del resultado :

$$\% \text{Reticulocitos} = (\text{No. Reticulocitos contados} / \text{No. Eritrocitos observados}) \times 100$$

NOTA: El recuento de reticulocitos se realiza en las muestras donde la concentración de hemoglobina, el hematocrito y la concentración media de hemoglobina corpuscular se encuentren por debajo de los valores considerados como normales, de acuerdo al sexo y edad de la persona.

## 6.10 RECUENTO DE CELULAS CON PUNTEADO BASOFILO

1. Colocar una pequeña gota de sangre (5  $\mu\text{L}$ ) de no más de 3 mm de diámetro sobre la superficie de un portaobjetos a 2 mm aproximadamente de uno de sus extremos.

2. Colocar el canto de otro portaobjetos esmerilado por la parte anterior de la gota de sangre sobre la superficie del primer portaobjetos, formando un ángulo de aproximadamente 45°, y desplazarlo suavemente hacia atrás hasta que alcance la gota de sangre.

3. Esperar a que por capilaridad toda la sangre se distribuya uniformemente. Es aconsejable que la sangre no llegue a los lados del portaobjetos sobre el que se realice la extensión.

4. Deslizar suavemente y a velocidad moderada un portaobjetos sobre el otro en sentido longitudinal, hasta que la gota de sangre quede bien extendida sobre la superficie del primer portaobjetos. Así, si es superior a 45°, la extensión obtenida será gruesa; por el contrario, si es inferior a 45° será larga y fina.

5. Secar el frotis a temperatura ambiente y en posición horizontal.

6. Fijar la extensión de sangre añadiendo sobre la misma un volumen de colorante de Wright sin diluir durante 1 minuto.

7. Añadir al colorante 2 ó 3 volúmenes de agua destilada-buffer o PBS (buffer de fosfatos, pH = 6.8), procurando no desparramar la mezcla por fuera del portaobjetos.

8. Mezclar bien la solución colorante con el diluyente y esperar 10 minutos.

9. Lavar bien el frotis con abundante agua destilada y finalmente dejarlo secar al aire. Una vez seco, la preparación está lista para observarse en el microscopio con el objetivo de inmersión (100 X).

10. Se inicia la búsqueda de eritrocitos que posean gránulos redondos o irregulares de color negro azulado.

NOTA: La búsqueda de células con punteado basófilo está condicionada para realizarse en las muestras sanguíneas en las que la concentración de plomo se encuentre en valores próximos o superiores a 70  $\mu\text{g/dL}$ .

## 7. RESULTADOS

La población de estudio seleccionada fueron miembros de las comunidades de Boxasni y La Magdalena en el municipio de Cadereyta, Qro., puesto que estas personas se encuentran relacionadas con la fabricación de alfarería. La segunda población que participó en el estudio fueron habitantes de Tarimoro, Gto., que son ajenos a actividades que involucren la exposición ocupacional al plomo.

Una vez seleccionadas, la población expuesta y la testigo, se realizó una convocatoria general en las comunidades de Boxasni y La Magdalena, invitándolas a participar en el proyecto, a la cual acudieron sólo 27 personas, por lo que, el resto de las muestras (72), se recolectaron al acudir a diferentes hogares que se seleccionaron aleatoriamente. De los miembros de Tarimoro, Gto., se obtuvieron 29 muestras sanguíneas que conformaron al grupo testigo.

Las muestras sanguíneas provenientes de la población relacionada con la fabricación de alfarería constituyen el denominado grupo P, el cual está conformado por dos grupo: A y B; donde el grupo A está integrado por personas menores de 13 años de edad y el grupo B por mayores de 13 años de edad. Finalmente, el grupo T (testigo) incluye a las muestras recolectadas en Tarimoro, Guanajuato.

La separación del grupo P en los grupos A y B se realizó con la finalidad de estudiar aquellos datos de concentración de plomo en sangre que rebasan los límites máximos tolerables que han sido sugeridos por la Organización Mundial de la Salud, que son propuestos en base a la edad (niños y adultos). Con respecto a la edad seleccionada como margen de separación de los grupos se consideró que es a la cual, generalmente, se presentan cambios fisiológicos y metabólicos importantes en el organismo humano (paso de la niñez a la adolescencia).

A los voluntarios de la población relacionada con la fabricación de alfarería (grupo P) que participaron en el trabajo se les realizó una encuesta y una evaluación general del estado de salud, lo cual fue llevado a cabo por un médico. La encuesta incluye datos personales, ocupacionales y de salud. El número total de encuestados fue de 99 (grupo P), donde 21 son personas menores de 13 años (grupo A) y los 78 restantes son mayores de 13 años de edad (grupo B). En estas 99 personas se encuentran alfareros, habitantes de las casas donde se ubica el taller de alfarería familiar y personas que viven fuera de los talleres (vecinos); incluyéndose tanto hombres como mujeres.

En la tabla 10, están indicados los signos y síntomas que se consideraron en la encuesta, ya que se han señalado, en estudios de investigación previos como probables a manifestarse cuando existe una intoxicación por plomo; también en la tabla se muestra el porcentaje total de incidencia con que los mismos se presentaron en el grupo de las personas encuestadas (grupo P). Siendo un número total de 99. En el caso de los menores de 13 años de edad (grupo A), los padres de los mismos auxiliaron en el señalamiento de los síntomas, signos y algunos otros trastornos orgánicos presentes en sus hijos. Las letras P y A se utilizaron con la finalidad de señalar los signos o síntomas que están presentes o ausentes respectivamente, en la presente tabla.

**TABLA 10. INCIDENCIA DE SIGNOS Y SINTOMAS EN LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA**

P = PRESENTE; A = AUSENTE

SIGNO O SINTOMA	NUMERO DE MUESTRA																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
CEFALEA	P	A	A	P	P	P	P	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	P	P	P	A	A	P	A	A	P	A	A	P	P	A	A	P	A	A	P
COLICO ABDOMINAL	P	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	P	P	A	A	P	A	A	P	A	A	P	A	A	P	A	A	A	P	
CALAMBRES	A	P	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	
TEMBLOR	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	
ARTRALGIA	P	P	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	
MIALGIA	P	P	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	
IRRITABILIDAD	P	P	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	
NERVIOSISMO	P	A	P	A	P	A	A	A	A	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	P	A	A	A	P	A	A	P	A	A	A	
INQUIETUD	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
VERTIGO	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	
NAUSEAS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
VOMITO	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
CONSTIPACION	P	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	
ENTORPECIMIENTO	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
DE EXTREMIDADES	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
RIGIDEZ	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
MOVIMIENTOS INVOLUNTARIOS	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
INSOMNIO	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
CONFUSION MENTAL	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
CONVULSIONES	P	P	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
SABOR METALICO	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
ANOREXIA	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
GASTRITIS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
ASTENIA	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	
DEBILIDAD	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
PERDIDA DE PESO	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
PALIDEZ	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
R. GINGIVAL	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
DE BURTON	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
DISURIA	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
ABORTOS	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
PIORREA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

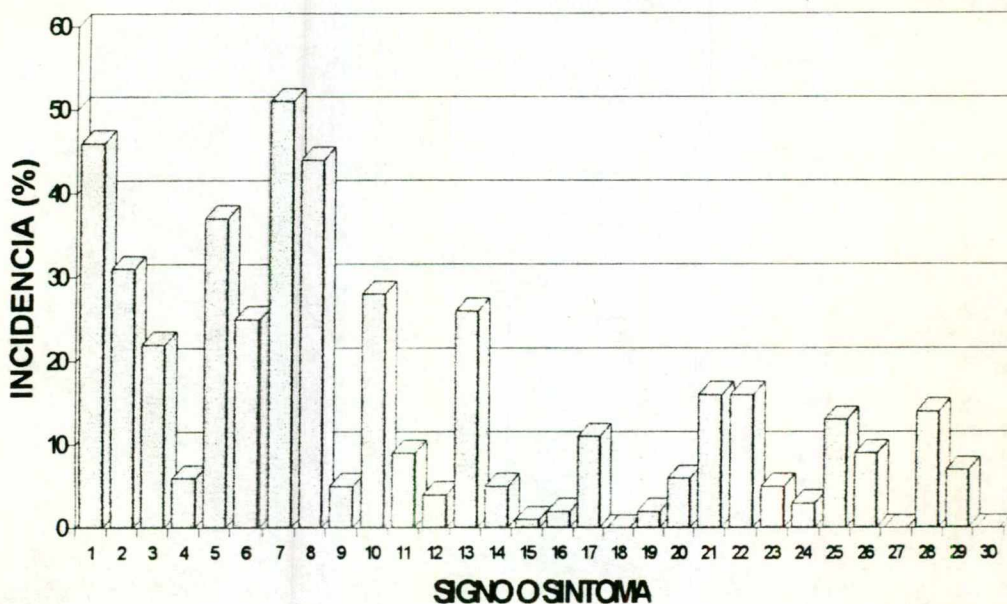




# CONTINUACION DE LA TABLA 10.

SIGNO O SINTOMA	NUMERO DE MUESTRA																				TOTAL %										
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
CEFALEA	P	P	A	A	P	A	P	P	A	P	A	P	P	A	P	A	A	P	A	A	A	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A
COLICO ABDOMINAL	A	A	A	A	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A
CALAMBRES	P	P	A	P	A	P	A	A	A	A	A	P	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P
TEMBLOR	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ARTRALGIA	P	A	A	A	A	P	A	A	P	A	A	P	P	A	A	P	P	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A
MIALGIA	A	A	A	A	P	A	P	A	P	A	P	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A
IRRITABILIDAD	A	P	A	P	A	P	P	A	A	P	P	A	P	A	P	A	P	A	A	A	A	A	P	P	P	P	P	P	P	P	P
NERVIOSISMO	A	P	A	A	A	P	A	A	A	P	A	P	A	A	P	A	P	A	A	A	A	A	P	P	P	P	P	P	P	P	P
INQUIETUD	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
VERTIGO	A	P	A	A	P	P	P	A	A	A	A	A	A	A	P	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NAUSEAS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
VOMITO	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
CONSTIPACION	A	P	A	A	A	A	P	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P
ENTORPECIMIENTO	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
DE EXTREMIDADES	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
RIGIDEZ	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
MOVIMIENTOS INVOLUNTARIOS	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
INSOMNIO	A	P	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P
CONFUSION MENTAL	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
CONVULSIONES	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SABOR METALICO	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ANOREXIA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
GASTRITIS	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P
ASTENIA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
DEBILIDAD	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
PERDIDA DE PESO	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P
PALIDEZ	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
R. GINGIVAL	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
DE BURTON	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
DISURIA	A	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ABORTOS	A	A	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	P	A
PIORREA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

## GRAFICA 1. HISTOGRAMA DE LA INCIDENCIA DE LOS SIGNOS Y SINTOMAS QUE HAN SIDO RELACIONADOS CON LA INTOXICACION POR PLOMO



De la tabla 10 y la gráfica 1, se observa que los signos y síntomas más frecuentes en la población relacionada con la fabricación de alfarería son, en orden de incidencia decreciente: irritabilidad, cefalea, nerviosismo, artralgia, cólico abdominal, vértigo, constipación, mialgia y calambres.

Es importante mencionar que es muy difícil el establecimiento del diagnóstico de intoxicación plúmbica basándose, únicamente, en la sintomatología que presenta el paciente, puesto que la mayoría de los signos y síntomas, que se han involucrado con la intoxicación por este metal, se manifiestan con frecuencia en otros trastornos en la salud.

La determinación de la concentración de plomo en sangre se realizó por espectrometría de absorción electrotrémica.

El programa de control de calidad se llevó a cabo evaluándose los elementos que anteriormente se han mencionado como los propuestos. Estos fueron:

El coeficiente de correlación, el cual se determinó para cada una de las curvas elaboradas, a partir de los estándares; el valor de éste fue siempre mayor a 0.9975.

El límite de detección, cuyo valor alcanzado fue de 0.02  $\mu\text{g}/\text{dL}$ .

El límite de cuantificación, que correspondió a 0.93  $\mu\text{g}/\text{dL}$ .

La exactitud. Se evaluó utilizando seis estándares certificados de plomo en sangre: 96PB15, 96PB16, 96PB17, 96PB26, 96PB27 y 96PB28; los cuales, como ya se indicó, proceden del Programa de Certificación del Centro de Control de las Enfermedades del Departamento de Salud de los Estados Unidos (CDC).

Es posible mencionar, con respecto a esta evaluación, que las concentraciones de plomo en sangre que fueron determinadas se encontraron dentro del rango de concentración correspondiente a cada estándar; como se observa en la tabla 11.

**TABLA 11. CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE EN LOS ESTANDARES CERTIFICADOS**

ESTANDAR	RANGO DE CONCENTRACION DE PLOMO SANGRE $\mu\text{g/dL}$	VALOR OBTENIDO	COEFICIENTE DE VARIACION %
96PB15	14-20	17.26	0.97
96PB16	0-8	4.15	3.73
96PB17	40-50	41.82	0.70
96PB26	25-33	30.78	0.79
96PB27	11-19	13.11	2.37
96PB28	14-22	17.26	1.02

La precisión se determinó para cada muestra, pretendiéndose obtener valores de desviación estándar relativa, o coeficiente de correlación expresado en porcentaje, inferiores al 2%.

En la tabla 12 se muestran los promedios obtenidos de dos alícuotas por muestra y tres determinaciones cada alícuota, así como la desviación estándar relativa o coeficiente de variación, expresado en por ciento (% C.V.). En esta misma tabla se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de la concentración de hemoglobina, el hematocrito y la concentración media de hemoglobina corpuscular, así como la edad miembros de la población relacionada con la fabricación de alfarería (grupo P).

**TABLA 12. RESULTADOS PARA LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GPO. P)**

NUMERO MUESTRA	CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE $\mu\text{g/dL}$	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	HEMOGLOBINA g/dL	HEMATOCRITO %	C.M.H.C. g/dL sangre	EDAD años
1	20.93	1.24	12.0	39.2	30.6	37
2	24.77	3.41	16.2	51.4	31.5	52
3	15.89	2.49	14.4	44.6	32.3	15
4	10.31	4.73	12.7	39.4	32.2	12
5	18.92	1.70	15.2	45.8	33.0	48

NUMERO MUESTRA	CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE $\mu\text{g/dL}$	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	HEMOGLOBINA $\text{g/dL}$	HEMATOCRITO %	C.M.H.C. $\text{g/dL}$ sangre	EDAD años
6	29.14	1.94	15.5	46.3	33.5	29
7	22.42	3.24	14.6	45.5	32.0	15
8	15.83	1.19	15.5	47.0	33.0	31
9	23.29	1.92	14.6	45.9	31.8	11
10	22.55	1.96	15.1	43.9	34.4	8
11	30.75	1.40	14.4	44.4	32.4	4
12	32.70	2.04	15.8	47.7	33.0	36
13	26.11	2.76	14.2	42.0	33.8	33
14	24.10	2.06	16.8	51.9	32.3	15
15	28.67	3.45	14.9	46.2	32.3	11
16	27.19	2.85	15.5	48.6	31.9	9
17	27.39	2.75	14.8	44.9	33.0	8
18	15.02	3.50	14.2	43.6	32.6	21
19	9.03	4.06	14.9	47.3	31.5	32
20	7.22	6.28	13.3	41.7	31.9	11
21	12.40	8.84	14.5	44.3	32.7	7
22	7.96	9.20	14.2	41.3	34.4	13
23	23.76	3.46	17.0	51.0	33.3	34
24	22.95	1.07	14.8	47.0	31.5	65
25	29.61	1.34	13.2	43.5	30.3	48
26	18.38	3.94	14.7	41.1	35.7	16
27	28.60	1.61	14.0	42.0	33.2	35
28	19.05	1.46	14.3	42.0	34.0	13
29	17.57	3.60	11.5	38.7	29.7	39
30	10.92	5.23	14.5	46.5	31.2	13
31	10.45	9.24	15.1	45.4	33.2	43
32	-	-	13.8	39.0	35.4	1
33	52.34	1.30	15.0	47.2	31.8	50
34	25.84	2.35	16.1	48.8	33.0	39
35	14.89	6.67	16.6	52.6	31.6	38
36	23.56	2.54	13.9	43.7	31.8	23
37	6.21	9.54	14.4	46.0	31.3	15
38	40.23	1.74	14.0	42.4	33.0	59
39	18.11	1.75	14.3	43.0	33.3	29
40	26.38	3.33	13.3	39.4	33.8	28
41	33.31	1.56	14.7	43.8	33.6	63
42	47.56	2.33	14.8	45.8	32.3	45
43	24.30	5.92	14.6	45.0	32.4	11
44	26.99	1.01	13.3	41.3	32.2	30
45	29.74	1.57	15.7	46.8	33.5	27
46	25.57	2.88	15.1	47.3	32.0	52
47	16.97	3.99	17.3	51.4	33.7	19
48	19.72	3.13	17.2	52.6	32.7	17
49	23.63	2.98	15.3	45.5	33.6	30
50	19.66	1.67	16.5	50.9	32.4	29
51	29.41	1.73	15.1	45.3	33.3	17
52	24.57	1.82	13.6	43.3	31.4	18
53	21.95	3.13	14.3	41.6	34.4	15
54	13.20	3.53	14.5	42.7	34.0	22

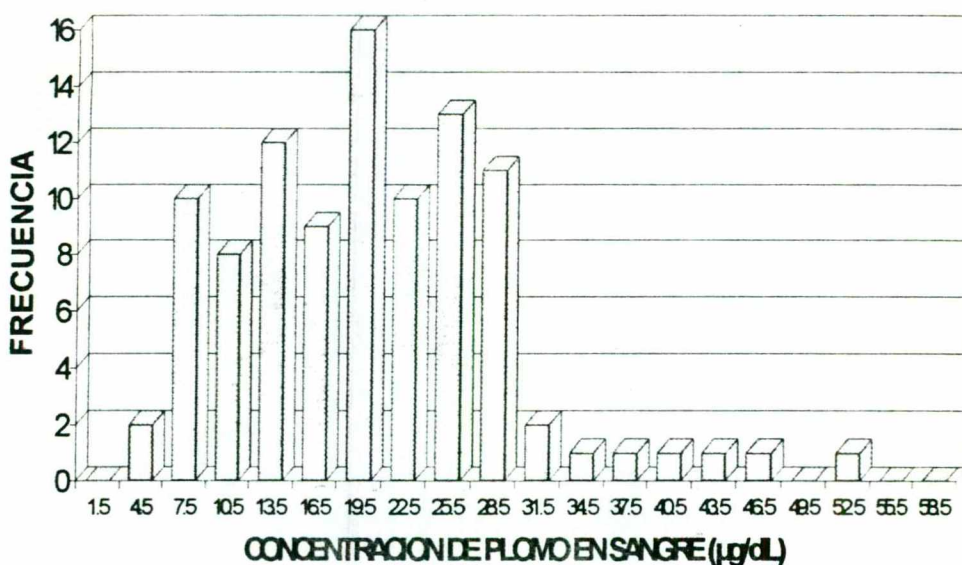
NUMERO DE MUESTRA	CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE $\mu\text{g/dL}$	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	HEMOGLOBINA $\text{g/dL}$	HEMATOCRITO %	C.M.H.C. $\text{g/dL}$	EDAD años
55	20.20	1.17	15.7	45.3	34.7	14
56	18.85	3.42	18.2	53.4	34.1	19
57	19.52	4.92	17.9	52.3	34.2	30
58	42.83	0.74	15.6	44.2	35.3	58
59	24.63	1.00	13.4	40.8	32.8	10
60	16.43	4.75	14.3	46.0	31.1	11
61	23.89	3.00	14.8	45.4	32.6	39
62	14.01	4.07	15.3	45.0	34.0	13
63	36.07	3.20	14.4	43.3	33.3	24
64	20.87	1.29	14.0	40.4	34.6	6
65	12.40	3.69	13.6	40.5	33.6	10
66	25.84	4.33	12.7	38.0	33.4	5
67	7.69	5.59	14.0	44.3	31.6	53
68	18.98	3.66	13.6	42.5	32.0	10
69	24.57	2.76	13.2	40.6	32.5	9
70	29.54	1.62	14.4	44.5	32.4	46
71	26.11	1.33	15.1	46.8	32.3	39
72	17.17	3.49	14.8	46.7	31.7	55
73	13.47	5.13	14.1	44.1	32.0	53
74	11.92	4.30	17.2	51.4	33.5	22
75	18.72	2.86	13.6	44.0	30.9	80
76	13.14	5.23	15.2	47.4	32.1	49
77	4.93	5.95	14.5	45.0	32.2	47
78	12.09	2.87	12.5	39.2	31.9	14
79	12.13	5.48	16.6	50.3	33.0	62
80	20.94	3.55	14.7	44.6	33.0	56
81	7.76	9.19	13.6	42.1	32.3	30
82	13.20	2.25	13.5	42.1	32.1	18
83	16.16	3.79	13.6	42.4	32.1	15
84	23.36	4.38	14.5	44.4	32.7	75
85	28.40	1.90	15.3	48.1	31.8	51
86	8.63	4.18	16.7	53.8	31.0	40
87	5.67	5.29	13.8	43.8	31.5	13
88	13.27	5.36	13.9	46.1	30.1	36
89	10.65	6.93	15.1	49.6	30.5	14
90	10.25	3.39	13.8	42.4	32.5	10
91	27.86	2.34	13.5	40.5	33.3	41
92	13.67	3.42	14.3	41.7	34.3	9
93	17.04	3.74	13.2	41.2	32.0	12
94	18.11	3.57	14.5	44.7	32.4	48
95	18.51	2.73	13.8	42.6	32.4	13
96	11.79	4.16	12.6	38.6	32.6	11
97	7.55	7.32	15.3	46.7	32.8	13
98	6.95	3.53	14.8	43.2	34.3	52
99	7.55	6.67	18.1	54.0	33.5	25
100	7.62	4.17	16.9	50.4	33.5	24

Se observa, que algunos de los valores del coeficiente de variación superaron al 2%. Sin embargo, tomando en cuenta que la técnica empleada para la cuantificación del plomo fue mediante horno de grafito, pueden considerarse como aceptables ya que el análisis que se realizó es a nivel traza.

Una vez obtenidos los resultados, se empleó un paquete estadístico, mediante el cual, se determinaron: el número y el punto medio de las clases, y la frecuencia correspondiente a cada una de ellas; información que se utilizó para la construcción de los histogramas de frecuencia de cada grupo.

En la gráfica 2, se presenta el histograma de frecuencias para el grupo P, construido a partir de los resultados de la concentración de plomo en sangre señalados en la tabla 12.

**GRAFICA 2. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO P)**

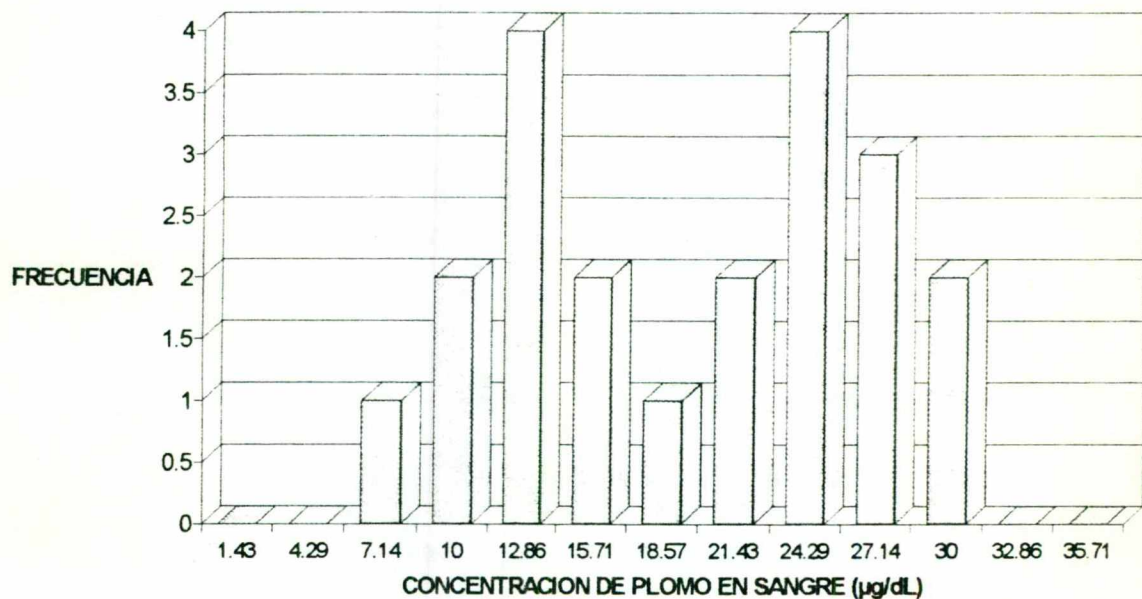


En el histograma de frecuencias del grupo P, el valor mostrado en el eje horizontal corresponde al punto medio de la clase.

Se aprecia que la mayor frecuencia corresponde a la séptima clase, lo que significa que las concentraciones de plomo en sangre más frecuentes en esta población están entre 18 µg/dL y 21 µg/dL, lo cual es muy importante de mencionar, puesto que dentro de este rango de concentraciones se encuentra el valor, correspondiente al límite máximo tolerable, recomendado por la OMS para los adultos, 20 µg/dL. Puede notarse como la frecuencia oscila; aumenta y disminuye

consecutivamente de una clase a otra, iniciando de la segunda hasta la décima, y posteriormente se mantiene en valor de 1. Lo cual sugiere una distribución de frecuencias variable en los niveles de concentración determinados para la población, y que las personas que pertenecen a las clases que comprenden niveles de concentración de plomo en sangre, superiores a los 33.0  $\mu\text{g}/\text{dL}$  son pocas y constantes, para cada clase.

**GRAFICA 3. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE PERSONAS MENORES DE 13 AÑOS DE EDAD DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO A)**

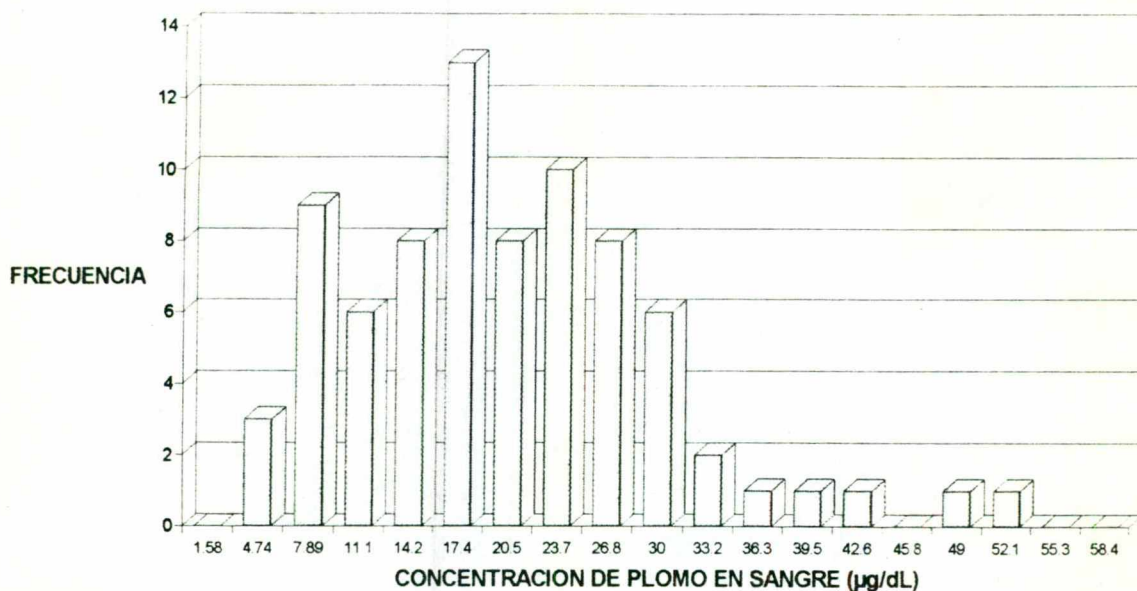


La gráfica 3, muestra el histograma de frecuencias correspondiente al grupo A.

El total de personas que se comprendieron en este grupo es de 21, por lo que se observan frecuencias relativamente bajas, apreciándose que se presenta una distribución de frecuencias bimodal, puesto que existen dos clases con valores de concentración de plomo sanguíneo predominantes, que poseen un máximo de frecuencia, común para ambas (de 4).

Las concentraciones de plomo en sangre, con mayor frecuencia, se localizan en los siguientes rangos: de 11.43  $\mu\text{g}/\text{dL}$  - 14.29  $\mu\text{g}/\text{dL}$  y de 22.86  $\mu\text{g}/\text{dL}$  a 25.71  $\mu\text{g}/\text{dL}$ . Niveles de concentración que sobrepasan el límite máximo tolerable sugerido por la OMS para los niños, 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$ .

**GRAFICA 4. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE PERSONAS MAYORES DE 13 AÑOS DE EDAD DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO B)**



La gráfica 4, presenta el histograma de frecuencias que corresponde al grupo B. El número de personas que conforma al grupo B fue de 78, la distribución tiende a ser normal y es semejante a la del grupo P. En este caso hay una mayor frecuencia en la clase que comprende los valores de concentración de plomo en sangre entre 15.79 µg/dL y 18.95 µg/dL, cifras inferiores a los 20 µg/dL.

En la tabla 13, se muestran las concentraciones de plomo en sangre correspondientes a la población testigo (grupo T) y la edad de los miembros de este grupo.

**TABLA 13. RESUMEN DE RESULTADOS PARA LA POBLACION TESTIGO (GPO. T)**

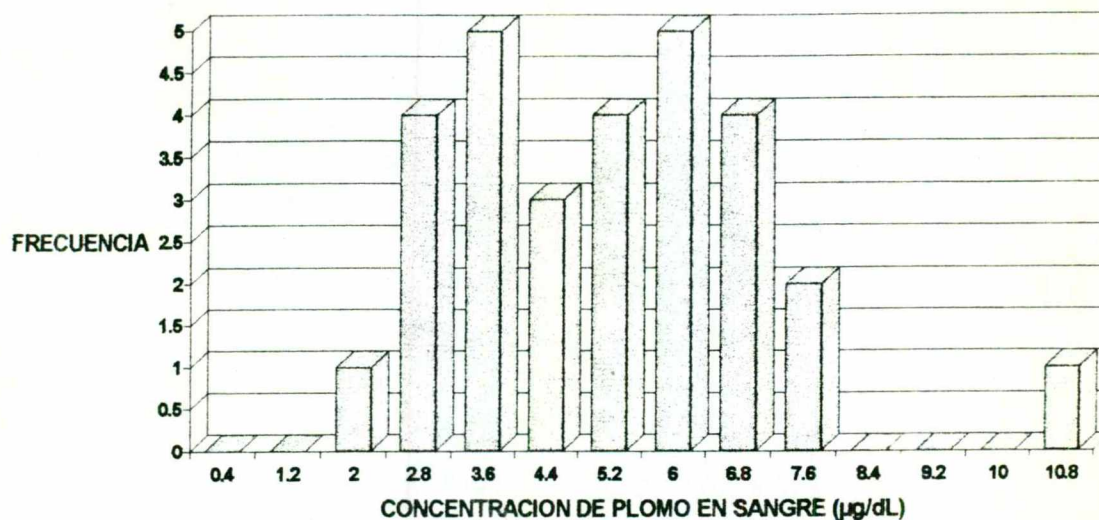
NUMERO DE MUESTRA	CONCENTRACION DE PLOMO SANGRE µg/dL	COEFICIENTE DE VARIACION %	EDAD años
101	5.23	1.86	23
102	5.94	2.52	27
103	4.33	5.26	26
104	6.24	3.27	16
105	5.54	2.10	12



106	4.53	0	23
107	7.76	5.53	42
108	2.92	4.61	64
109	6.04	3.33	23
110	3.62	4.20	17
111	2.81	2.40	19
112	2.51	4.08	5
113	3.92	2.45	33
114	2.11	4.29	69
115	7.05	8.41	25
116	5.94	5.30	30
117	4.33	4.26	41
118	3.82	7.06	33
119	5.13	2.15	36
120	6.95	1.64	29
121	6.55	4.87	32
122	10.88	7.44	30
123	7.45	0	37
124	3.12	1.22	59
125	5.23	1.55	50
126	3.52	2.68	60
127	3.62	1.86	17
128	5.74	5.73	12
129	7.05	2.19	23

A las personas que comprendieron el grupo T no se les realizó la encuesta, ni la evaluación de los parámetros hematológicos incluidos en el estudio, ya que este grupo se integró en el trabajo con la finalidad de poder establecer una comparación en los niveles de concentración de plomo en sangre, encontrados en los miembros de la población expuesta y los correspondientes a este grupo, que de alguna manera sugieran si la alfarería constituye o no el factor que contribuye a presentar mayores niveles de plomo en sangre en las personas relacionadas con esta actividad.

**GRAFICA 5. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LA POBLACION AJENA A ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO T)**

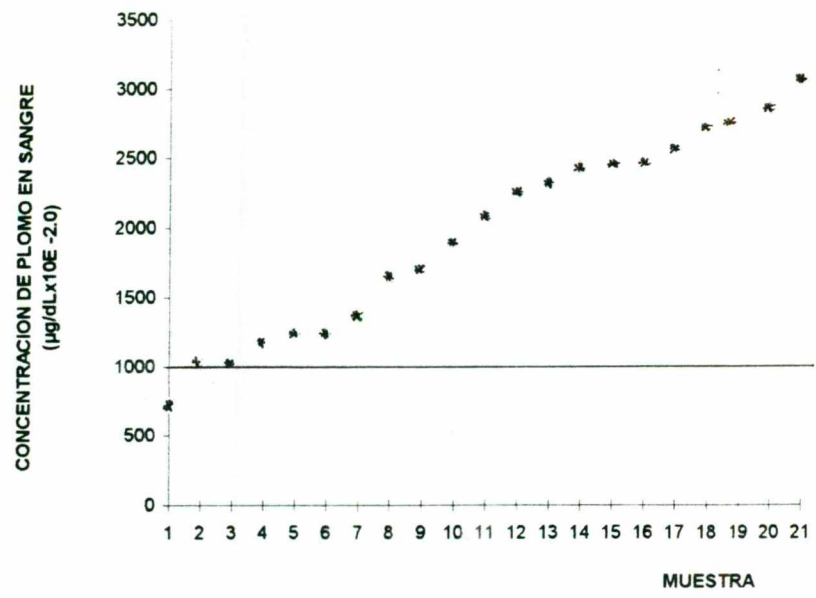


La gráfica 5, muestra el histograma de frecuencias del grupo T, donde se observa que la distribución de frecuencias del grupo es bimodal, notándose dos valores máximos de frecuencias, localizados en las clases que incluyen niveles de concentración de plomo en sangre de 3.2 µg/dL a 4.0 µg/dL y de 5.6 µg/dL a 6.4 µg/dL, los cuales están por debajo de los valores sugeridos por la OMS como máximos tolerables, inclusive el indicado para los niños, considerando que la mayoría de las personas que forman este grupo son adultos. Se detectó únicamente una concentración de plomo en sangre superior a los 10 µg/dL (10.88 µg/dL) que correspondió a una muestra sanguínea de una persona de 30 años de edad, cuya fuente de exposición es desconocida.

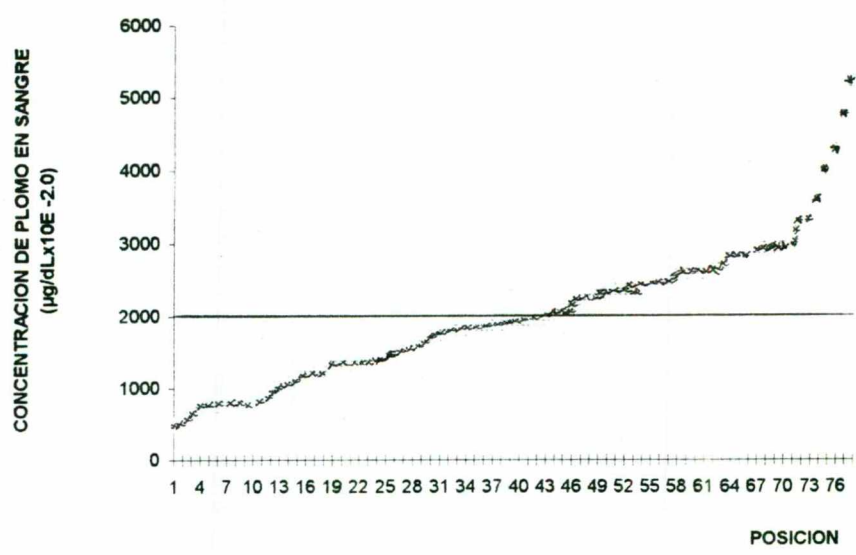
Como se ha mencionado, la Organización Mundial de la Salud sugiere los valores límites tolerables de plomo en sangre de 10 µg/dL para niños y de 20 µg/dL para adultos. En el presente trabajo se adoptaron tales recomendaciones, ya que, a valores de concentración de plomo en sangre, inferiores a los marcados por esta organización, no se han observado daños en la salud humana.

En las gráficas 6, 7 y 8 se presentan los comportamientos de los niveles de concentración de plomo en sangre en los grupos A, B y T, con respecto a los valores límites tolerables sugeridos por la OMS. En el eje horizontal se ubica la posición, el cual es un término que indica el lugar que ocupa cada una de las muestra que han sido ordenadas en forma ascendente, con respecto a la concentración de plomo determinada.

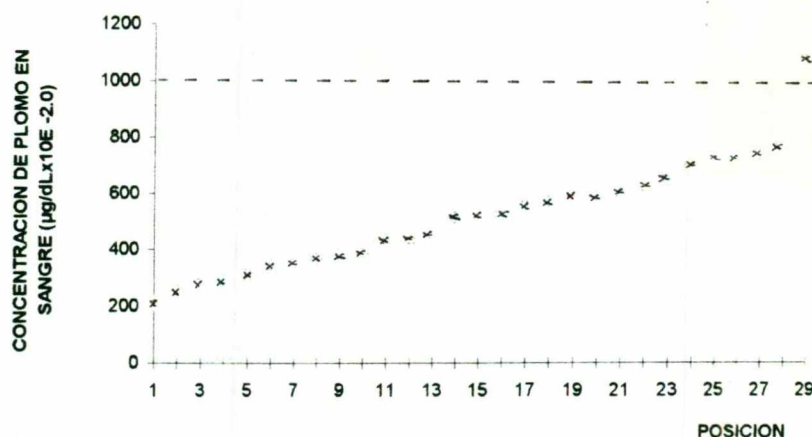
**GRAFICA 6. COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE DE PERSONAS MENORES DE 13 AÑOS DE EDAD DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO A)**



**GRAFICA 7. COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE DE PERSONAS MAYORES DE 13 AÑOS DE EDAD DE LA POBLACION RELACIONADA CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO B)**



**GRAFICA 8. COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE PLOMO EN SANGRE DE LA POBLACION AJENA A ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA FABRICACION DE ALFARERIA (GRUPO T)**



Realizando la comparación entre las concentraciones de plomo, determinadas para las poblaciones bajo estudio, y los límites máximos establecidos por la OMS, se encontró que el 95% del grupo A y el 44.9% del grupo B, son superiores a los valores sugeridos; y de la población total el 55.6% rebasan dichos límites; mientras que el 100% del grupo T mostraron concentraciones de plomo en sangre inferiores a 20 µg/dL y sólo el 3.45% superó a los 10 µg/dL (muestra sanguínea que correspondió a la persona de 30 años de edad).

Con la finalidad de establecer la existencia de alguna diferencia significativa entre los niveles de concentración de plomo en sangre, determinados para los grupos A, B, P y T, se procedió a realizar un análisis estadístico, que consistió en determinar los parámetros estadísticos señalados en la tabla 14.

**TABLA 14. RESULTADOS. PARAMETROS ESTADISTICOS EVALUADOS**

PARAMETRO	GRUPO P	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO T
TAMAÑO DE MUESTRA	99	21	78	29
MEDIA	19.99	19.55	20.11	5.17
MEDIANA	19.05	20.87	18.99	5.23
MODA	13.20	12.40	7.55	4.33
MINIMO	4.93	7.22	4.93	2.11
MAXIMO	52.34	30.75	52.34	10.88
RANGO	47.41	23.53	47.41	8.77
DESV. ESTANDAR	9.14	7.08	9.65	1.93
COEF. DE VARIACION	45.71	36.23	47.99	37.32