

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO



**DETERMINACION DE PLOMO EN SUELO Y AGUA DE
COMUNIDADES RELACIONADAS CON LA FABRICACION DE
ALFARERIA**

TESIS

**QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER
EL GRADO DE**

QUIMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

JOSE ANTONIO ALCANTAR GARDUÑO

DIRIGIDA POR

M. EN C. GUSTAVO PEDRAZA ABOYTES

**CENTRO UNIVERSITARIO
SANTIAGO DE QUERETARO, QUERETARO, MEXICO
1998**

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

No. Adq. H58485
No. TRLD _____
Clas. 614.77
A347d



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

FACULTAD DE QUIMICA

**DETERMINACION DE PLOMO EN SUELO Y AGUA DE
COMUNIDADES RELACIONADAS CON LA FABRICACION
DE ALFARERIA**

T E S I S

**Que para obtener el título de
QUIMICO EN ALIMENTOS**

Presenta

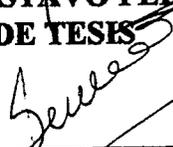
JOSE ANTONIO ALCANTAR GARDUÑO



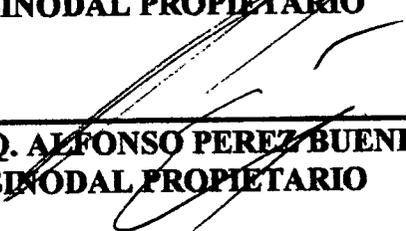
**M. EN C. GUSTAVO PEDRAZA A.
DIRECTOR DE TESIS**



**DRA. MA. GPE. FLAVIA LOARCA P.
SINODAL PROPIETARIO**



**Q.A. BEATRIZ DEL ROCIO
VERDUZCO CUELLAR
SINODAL SUPLENTE**



**Q. ALFONSO PEREZ BUENROSTRO
SINODAL PROPIETARIO**



**Q.M. JOSE MERCED ESPARZA G.
DIRECTOR DE LA FAC. DE QUIMICA**

SANTIAGO DE QUERETARO, QRO., MAYO DE 1998

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Le doy gracias Dios porque me dió la gran oportunidad de concluir mi formación profesional; un pequeño peldaño en la gran cumbre que me ha encomendado. Te doy gracias Dios porque durante este camino has sido tú mi mejor amigo, mi mejor compañero y el más fiel amigo, porque a tu lado todo cuanto se hace es más llevadero.

Te doy gracias Dios y te pido que en este peldaño que acabo de pisar seas tú mi guía hasta el último peldaño que me tienes preparado.

PAPA Y MAMA

Quiero darles las gracias por todo su apoyo incondicional que me dieron para que yo concluyera mis estudios, por todos los principios humanos que supieron infundir en mí. Gracias porque me sirvieron para seguir adelante como hasta ahora. Espero que este trabajo que ahora entrego a ustedes les llene de satisfacción, pues es un gran logro para mi, y para ustedes como padres ejemplares que han sido para mí, los quiero mucho.

CONCHITA

En este trabajo como en toda la carrera he aprendido muchas cosas de tí, me enseñaste a luchar por una meta que fue la de terminar la carrera y ahora has puesto en mi toda tu confianza en la realización de este nuestro trabajo. Espero que este trabajo te satisfaga a tí tanto como a mí, ten siempre presente que gran parte de todo este logro no es solo mío. Gracias por tu confianza, apoyo y ternura que siempre recibí de tí, porque me ofreciste una mano firme en situaciones difíciles hasta ver mejor las cosas. No olvides que tenemos ideales muy bonitos por los que vale la pena luchar.

Se que no es suficiente con darte mi más sincero agradecimiento por toda la ayuda que de tu parte recibí para la realización de este trabajo. Soy feliz de contar con tu amistad y ayuda, eres una gran persona que Dios puso en mi camino. Nunca cambies.

A MIS HERMANOS

Les agradezco todo el apoyo que recibí de ustedes durante todos mis estudios. Fue y es muy grato para mí llegar a casa y saber que cuento con una gran familia: Abraham, Floriberto, Melchor, Efraín y Jorge; Isaura, Lourdes, Margarita, Rosario, Luz, Reina, Ma. de Jesús, Judith y Pompeya, les estoy muy agradecido a todos porque de alguna manera ésto tiene una pequeña parte de ustedes.

A LA UNIVERSIDAD Y MAESTROS

Agradezco a las autoridades universitarias que laboraron durante mi formación profesional, a todos mis maestros que durante la carrera me compartieron sus conocimientos, valiosas herramientas para el futuro.

Maestros: Gustavo, Beatríz, Alfonso y Chacha; no hay mejor satisfacción que la de recibir un buen consejo de parte suya para hacer de este trabajo algo bueno y útil. Por ello mi agradecimiento a ustedes.

INDICE

	PAGINA
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCION	3
3. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS	6
3.1. METALES PESADOS	6
3.2. PLOMO	7
3.2.1. FUENTES	7
3.2.2. GRETA [OXIDO DE PLOMO,(PbO)]	7
3.2.3. FUENTES NATURALES	8
3.2.3.1. ROCAS	8
3.2.3.2. SUELO	8
3.2.3.3. AGUA	9
3.2.3.4. AIRE	11
3.2.3.5. PLANTAS	12
3.2.3.6. ALIMENTOS	12
3.2.4. FUENTES ANTROPOGENICAS	15
3.2.4.1. MINERIA	15
3.2.4.2. FUNDICION Y REFINACION	15
3.3. EXPOSICION	15
3.3.1. EXPOSICION DE LA POBLACION GENERAL	15
3.3.2. EXPOSICION DE LA POBLACION OCUPACIONAL	16
3.4. ABSORCION	17
3.4.1. INHALACION	17
3.4.2. TRACTO GASTROINTESTINAL	18
3.4.3. CUTANEA	18
3.5. DISTRIBUCION Y RETENCION	18
3.6. ELIMINACION	19
3.7. EFECTO TOXICO	21
3.8. INTOXICACION	21
3.9. EFECTOS DEL PLOMO EN LA SALUD	22
3.10. EFECTOS DEL PLOMO EN LA POBLACION INFANTIL	23
3.10.1. FUENTES Y VIAS DE INTOXICACION POR PLOMO EN NIÑOS	23
3.10.2. EVOLUCION DEL MANEJO CLINICO DE LOS RIESGOS DE LA INTOXICACION POR PLOMO EN NIÑOS	24
3.10.3. SIGNOS Y SINTOMAS DE LA INTOXICACION AGUDA POR PLOMO EN NIÑOS	24
3.10.4. CONCLUSIONES	25
3.11. EFECTO DEL PLOMO EN LA SALUD DE LOS ADULTOS	27
3.12. LIMITES	28
3.12.1. LIMITES OCUPACIONALES	28

3.12.2. LIMITES AMBIENTALES	29
4. OBJETIVOS	31
4.1. OBJETIVO GENERAL	31
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	31
5. HIPOTESIS	32
6. METODOLOGIA	33
6.1. METODOS	33
6.1.1. MUESTREO	33
6.1.1.1. AGUA	33
6.1.1.2. SUELO	36
6.2. MATERIAL	36
6.3. REACTIVOS	37
6.4. SOLUCIONES	37
6.5. PREPARACION Y ANALISIS DE LA MUESTRA PARA LA DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO Y AGUA	37
6.5.1. PREPARACION Y LAVADO DE MATERIAL	37
6.5.2. PREPARACION DE SOLUCIONES	38
6.5.2.1. SOLUCIONES PARA EL LAVADO DE MATERIAL	38
6.6. PREPARACION DE LAS MUESTRAS	39
6.6.1. SUELO	39
6.6.2. AGUA	40
6.7. ANALISIS DE MUESTRAS	40
6.7.1. ANALISIS DE SUELO	41
6.7.2. ANALISIS DE AGUA	41
6.8. PARAMETROS INSTRUMENTALES UTILIZADOS EN EL ESPECTROFOTOMETRO DE FLAMA	42
6.8.1. TIPO DE FLAMA UTILIZADO	42
6.9. PARAMETROS INSTRUMENTALES UTILIZADOS EN EL HORNO DE GRAFITO	43
6.9.1. PROGRAMA DE TEMPERATURAS UTILIZADAS EN EL HORNO DE GRAFITO	43
7. RESULTADOS	44
8. CONCLUSIONES	55
9. APENDICE	56
9.1 ABREVIATURAS	56
9.2 FORMULARIO	57
9.3 TABLA. PUNTOS PORCENTUALES DE LA DISTRIBUCION F	58
9.4 TABLA. VALORES CRITICOS DE t	59
10. BIBLIOGRAFIA	60

INDICE DE TABLAS

	PAGINA
TABLA 1. CONCENTRACION DE PLOMO EN DISTINTAS MUESTRAS DE AGUA.	11
TABLA 2. CONCENTRACION DE PLOMO EN AIRE DE DISTINTAS ZONAS.	11
TABLA 3. CONCENTRACION DE PLOMO EN ALIMENTOS.	12
TABLA 4. GRADO DE RIESGO SEGUN INDICADOR.	29
TABLA 5. RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO DE LA MAGDALENA.	44
TABLA 6. RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO DE BOXASNI.	46
TABLA 7. RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN AGUA DE BOXASNI.	48
TABLA 8. RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN AGUA DE LA MAGDALENA.	50
TABLA 9. COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO EN SUELO.	52
TABLA 10. COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO EN AGUA.	52
TABLA 11. COMPARACION DE MEDIAS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO.	53
TABLA 12. COMPARACION DE MEDIAS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN AGUA.	53
TABLA 13. PARAMETROS ESTADISTICOS EVALUADOS.	54

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
FIGURA 1. IMPORTANCIA DEL PLOMO ATMOSFERICO EN LA CONTAMINACION GLOBAL DEL AMBIENTE.	14
FIGURA 2. VIAS DE ABSORCION, DISTRIBUCION Y ELIMINACION DEL PLOMO EN EL ORGANISMO HUMANO.	20
FIGURA 3. EFECTOS DEL PLOMO INORGANICO EN NIÑOS Y ADULTOS; EFECTOS NOSIVOS SOBRE LA SALUD EN LOS NIVELES MAS BAJOS OBSERVABLES.	26
FIGURA 4. MAPA DE LA COMUNIDAD DE LA MAGDALENA.	34
FIGURA 5. MAPA DE LA COMUNIDAD DE BOXASNI.	35
FIGURA 6. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA EL CONTENIDO DE PLOMO EN SUELO DE LA MAGDALENA.	45
FIGURA 7. HISTOGREMA DE FRECUENCIAS PARA EL CONTENIDO DE PLOMO EN SUELO DE BOXASNI.	47
FIGURA 8. COMPORTAMIENTO DEL CONTENIDO DE PLOMO EN SUELO DE LA MAGDALENA Y BOXASNI.	48
FIGURA 9. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO EN AGUA DE BOXASNI.	49
FIGURA 10. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO EN AGUA DE LA MAGDALENA.	51
FIGURA 11. COMPORTAMIENTO DEL CONTENIDO DE PLOMO EN AGUA DE LA MAGDALENA Y BOXASNI.	51

1. RESUMEN

El plomo se encuentra en la corteza terrestre, fue uno de los primeros metales extraídos por el hombre, aumentando y diversificando con ello paralela y progresivamente las condiciones de exposición a niveles cada vez más altos de plomo en el ambiente. Este metal es usado en numerosos tipos de industrias y actividades, cuya magnitud exacta no se conoce, está presente en la dieta y en el ambiente humano. En general, la intoxicación por plomo se ha considerado como una de las enfermedades de origen ambiental y ocupacional más graves, debido a su elevada prevalencia, a su gran diversificación ambiental y a la persistencia de la toxicidad en las poblaciones afectadas.

Las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones por plomo pueden ser agudas o crónicas, en general de carácter sistémico; las intoxicaciones agudas no son frecuentes y se producen de preferencia en ambientes laborales y, con cierta frecuencia, en niños de la población general. Las intoxicaciones en la población general suelen ser de carácter crónico en la población ocupacional donde, inclusive se presenta con más frecuencia la intoxicación crónica que la aguda.

El daño causado por el plomo en el ser humano se centra en varios procesos bioquímicos y en algunos sistemas del cuerpo humano, y puede ocasionar una amplia gama de graves - y a menudo irreversibles - secuelas en la recuperación. Es importante, además, el impacto del plomo en poblaciones de menores, cuyo sistema nervioso es altamente sensible afectando la capacidad para leer o escribir, reduciendo los niveles psicométricos de inteligencia y aparición de alteraciones en el comportamiento.

Sin embargo, la intoxicación por plomo es un problema que debe prevenirse ya que los efectos que produce y que pueden ser detectados, corresponden a niveles de exposición cada vez menores y que pueden constituir una anticipación de graves daños. Existen medidas costo-efectivas, técnicas y no técnicas para disminuir las fuentes de exposición. En consideración a la dificultad y costo que representa controlar el plomo una vez que se deposita en la atmósfera, las estrategias más útiles para evitar el padecimiento se orientan a controlar el plomo desde sus fuentes primarias. Por ello, el interés de conocer la concentración de plomo (Pb) en el suelo y agua de comunidades relacionadas con la fabricación de alfarería y acentadas en el estado de Querétaro (2,8,9).

El análisis de las muestras de suelo se realizó mediante espectrofotometría de Absorción Atómica, mediante una digestión ácida para la extracción total de plomo y utilizando la técnica descrita para horno de grafito establecida por la ASTM (American Society for Testing and Materials).

Para el agua, se siguió también una técnica establecida por la ASTM la cual consistió en una acidificación directa y posterior análisis por espectrofotometría de absorción atómica con la modalidad de horno de grafito.

Se analizaron un total de 50 muestras de suelo y 53 muestras de agua, de las comunidades de Boxasní y La Magdalena, encontrándose que, en el caso de las muestras de suelo, el 100% de ellas sobrepasó el valor límite de 25 mg/kg, establecido para ambientes no ocupacionales, teniéndose un valor mínimo de 28.50 mg/kg de la comunidad de Boxasní y un valor máximo de 4064.38 mg/kg de esa misma comunidad.

En cuanto a las muestras de agua, 21 correspondieron a Boxasni y 32 a La Magdalena. En ambas comunidades se encontraron valores inferiores al valor límite de 25 µg/L, establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-ECOL/94). Cabe señalar que solo en el 28.30% del total de las muestras se detectó plomo, y en el restante 71.69% no se detectó el metal.

Es de interés mencionar que solo las muestras de suelo son las que contienen cantidades significativas del metal, lo que se puede traducir como una posible fuente de plomo que contribuye a los niveles observados en la población de dichas comunidades, especialmente los niños.

2. INTRODUCCION

En la actualidad uno de los principales problemas a los que se enfrenta el hombre es el del control y destino de los diferentes contaminantes, entre ellos el plomo, que de muchas maneras daña la salud y contaminan el ambiente de forma directa o indirecta, accidental o incidental. Debido a las diferentes actividades humanas, ha venido contaminando el suelo y el agua con plomo en concentraciones que pueden ser peligrosas para la salud.

Así como otros metales, el plomo en su forma natural tiene poca importancia como una fuente de contaminación ambiental. Sin embargo, con el crecimiento de las actividades industriales las fuentes de contaminación del medio con éste y otros metales han aumentado significativamente (2).

El plomo bajo las formas de diferentes compuestos, es usado en numerosos tipos de industrias y actividades, cuya magnitud exacta no se conoce. Las más importantes son las industrias de las baterías, pigmentos y secantes para pinturas, alfarería, cables, productos como antidetonantes para gasolina, esmaltes y cristal, soldaduras, blindajes contra radiaciones, estabilizador de plásticos, tipos de imprenta, municiones, tuberías y componentes de plaguicidas (arseniato de plomo) (2,6,10).

En la alfarería, se ha demostrado que ollas, cazuelas, platos, salseras y jarros, elaborados y vidriados con greta (PbO), contienen cantidades de plomo extraíbles superiores al valor límite máximo permisible establecido por la FDA (Food and Drugs Administration), de 2 mg de plomo por litro de agente extractor. El plomo se libera de las paredes de los recipientes al contacto con sustancias ácidas y puede incorporarse en el organismo cuando se utilizan los recipientes para preparar o contener los alimentos; independientemente de la procedencia geográfica de los recipientes vidriados con greta la población está expuesta a niveles de plomo extraíbles que van desde 17 hasta 6307 mg/L (8,21).

El plomo puede ser absorbido por inhalación, por ingestión y a través de la piel. La vía de ingreso, el tamaño de la partícula y el tipo de compuesto de plomo, determinan la concentración y difusión en el organismo (2).

La absorción del plomo depende no solo de la cantidad de plomo presente, ante las vías de ingreso, sino también del estado físico y químico en que se encuentre (orgánico o inorgánico) y de factores propios del organismo receptor como son la edad, el estado fisiológico y la integridad de los tejidos, así como la dieta y la actividad física del individuo (2).

El plomo está presente en la dieta y en el ambiente humano. Se ingieren entre 200 y 300 μg /día sin que ello cause daño conocido; la contribución de los alimentos a la exposición del hombre al plomo es muy variable. En unos estudios recientes realizados en los Estados Unidos de América se ha estimado que la ingesta oral diaria en alimentos y bebidas es de, 100 μg , aproximadamente (2,20).

El agua potable puede contaminarse en las mismas fuentes por el aire y el polvo, así como por los mismos sistemas de distribución; el suelo puede contaminarse por las partículas provenientes de las diferentes operaciones industriales y de los gases de la combustión que contienen plomo.

En términos generales, la intoxicación por plomo se ha considerado como una de las enfermedades de origen ambiental y ocupacional más graves, debido a su gran prevalencia, diversificación ambiental y a la persistencia de la toxicidad en las personas afectadas. La intoxicación por plomo afecta virtualmente a todos los procesos bioquímicos y a todos los órganos pudiendo ocasionar graves secuelas en la reproducción, así como en los sistemas: cardiovascular, hematopoyético y nervioso central. Siendo de gran importancia el impacto del plomo en los niños, cuyo sistema nervioso es altamente sensible. Entre los efectos neurofisiológicos más perniciosos de la intoxicación por plomo en niños están: incapacidad para aprender a leer y escribir, disminución de los niveles psicométricos de la inteligencia y aparición de alteraciones en el comportamiento. Con el paso del tiempo se ha descubierto que todos esos efectos ocurren a niveles de exposición cada vez menores y que todos pueden constituir una anticipación de graves desórdenes no solo de la conducta. A pesar de que ahora se sabe más acerca de los efectos en la salud y de las diferentes formas de exposición al plomo, en comparación con lo que sucede con otros metales, las dimensiones globales del problema siguen siendo desconocidas (9).

El daño causado por el plomo en el ser humano se centra en varios sistemas, siendo los más importantes los siguientes: nervioso, hematopoyético, urinario, gastrointestinal, renal, reproductivo y endócrino (2).

Los lactantes y niños de edad pre-escolar constituyen un grupo muy expuesto en lo que concierne a la ingestión y absorción de plomo. Las contribuciones relativas de los alimentos, el agua y el aire son difíciles de estimar debido a las diferencias en la dieta (principalmente leche), y a la mayor actividad metabólica en los niños. Además, la absorción intestinal del plomo, por niños y especialmente lactantes tal vez sea superior a la de los adultos (20).

Un riesgo especial que corren los niños pequeños es la ingestión de sustancias no alimenticias, particularmente pintura a base de plomo desprendida de las superficies de los hogares, polvo y tierra contaminados (6,20).

El plomo puede acumularse en altas concentraciones en una gran variedad de organismos como: moluscos, crustáceos, peces, aves, mamíferos y plantas. La absorción y la bioacumulación de plomo en ciertos animales y plantas son de gran importancia por el peligro de que la ingestión frecuente y prolongada de éste, por el hombre, puede ser significativa, ya que se han tenido evidencias de intoxicación por este metal. El mecanismo tóxico del plomo está dado por tres modalidades: compitiendo con los minerales esenciales - especialmente el calcio y el zinc - en sus sitios de inserción; mediante su afinidad por grupos sulfhidrilo (-SH) y alterando el transporte de iones esenciales.

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

manifestaciones clínicas de las intoxicaciones con este metal pueden ser agudas o crónicas y, en general, de carácter sistémico. Las intoxicaciones agudas son infrecuentes y se producen de preferencia en ambientes laborales y, con cierta frecuencia, en niños de la población general. Las intoxicaciones en la población general suelen ser de carácter crónico. En la población ocupacional es frecuente encontrar tanto intoxicaciones agudas como crónicas (2).

En consideración a la dificultad y al costo que representa controlar el plomo una vez que se deposita en la atmósfera - y debido a que el tratamiento médico no hace completamente reversibles sus efectos en el organismo -, las estrategias más útiles para evitar el padecimiento se orientan a controlar el plomo en sus fuentes primarias a través del establecimiento de medidas adecuadas en el sitio de trabajo, o bien la sustitución del plomo por sustancias más seguras. Otras prácticas que pueden reducir la exposición en los casos en que el plomo no puede substituirse y que incluyen la educación y el entrenamiento, la vigilancia de la exposición y de los efectos en la salud y, en los ámbitos laborales, el empleo de equipo de protección individual por parte de los trabajadores expuestos al metal (9).

El alejamiento del individuo de la fuente contaminante y 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. Sin embargo, contar con pronósticos y evaluaciones terapéuticas basados en el análisis de plomo en sangre, nos proporcionan vehículos importantes para la identificación de grupos poblacionales que presentan 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.
- Mejoramiento del proceso de fabricación.
- Monitoreos continuos de los procesos de producción y de poblaciones de alto riesgo.
- Sustitución de materias primas que contiene plomo.
- Mecanismos de higiene y seguridad personal (17).

3. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

3.1 METALES PESADOS

Algunos de los metales son esenciales para la vida por su papel que desempeñan en los procesos biológicos. Otros como el hierro pueden ser incluidos a propósito en la dieta o suministrados como suplemento para corregir deficiencias dietarias. Sin embargo, el exceso puede ser causa frecuente de envenenamiento accidental.

Los metales pesados son un factor común en la intoxicación animal a causa de su amplia distribución y uso como químicos agrícolas (plaguicidas), componentes de grasas y aceites usados en la maquinaria de granjas (acumuladores, cables, pinturas, etc.), porciones de materiales de desgaste que se establecen o depositan en las pasturas para animales, su presencia en plantas y aditivos para alimento, y la posible presencia o existencia en circunstancias de contaminación en el medio ambiente. En adición a su abundancia estos compuestos tienen la capacidad de sumarse a los que están presentes en la naturaleza; de aquí su implicación y existencia en la superficie ambiental por muchos años. Tales problemas han sido demostrados por ensayos de patrones de vida para humanos expuestos al arsénico, plomo y contenedores de mercurio. La introducción del patrón de vida en estas áreas, en años subsecuentes, ha sido como resultado de severas pérdidas animales.

Los metales o sus sales tiene también uso terapéutico, pero ello ha sido disminuído particularmente en el tratamiento de enfermedades infecciosas con la llegada de drogas orgánicas más efectivas. Sin embargo, se siguen usando ciertas sales metálicas como es el caso de las sales mercuriales como diuréticos.

La primera exposición humana a metales peligrosos pudo ser debida a concentraciones normalmente altas en los alimentos y en el agua. El uso de utensilios metálicos incrementó el riesgo de efectos adversos, posteriormente las sales metálicas y el uso de otros metales tóxicos inorgánicos como pesticidas. No obstante, utilizados intencionalmente para beneficio, se ha incrementado la posibilidad de exposiciones peligrosas. Con el comienzo de la era industrial, las enfermedades ocupacionales se han convertido en las más frecuentes. Después fueron reconocidas, enfermedades relacionadas con la contaminación del medio ambiente por industrias contaminantes (1).

Ciertos metales pesados constituyen, a pesar de su baja concentración en el ambiente, un grupo de elementos químicos de gran significado e importancia en la ecoquímica, en la ecotoxicología. El plomo, cadmio y mercurio son los tres metales ecotóxicos a priori, debido fundamentalmente a la tendencia de acumularse en órganos vitales del hombre y de mamíferos, como: cerebro, sistema renal, hígado, tracto gastrointestinal y huesos (24).

3.2 PLOMO

El plomo (número CAS 7439-92-1; número atómico, 82; peso atómico, 207.19; gravedad específica, 11.34; temperatura de fusión, 327.5 °C; temperatura de ebullición, 11740 °C a la presión atmosférica). Tiene 4 isótopos naturales (208, 206, 207 y 204, por orden de abundancia), pero las proporciones isotópicas en minerales de distinto origen son a veces muy distintas.

Aunque el plomo posee 4 electrones en su capa de valencia, solo dos se ionizan fácilmente. El estado habitual de oxidación en los compuestos inorgánicos es +2, y no +4. Las sales inorgánicas del plomo (II), el sulfuro y los óxidos son en general, poco solubles, con la excepción del nitrato, el clorato y, en mucho menor medida, el cloruro (20).

3.2.1 FUENTES

Existen dos fuentes principalmente, que son las fuentes naturales (rocas y algunos suelos) y las antropogénicas. Las fuentes principales de plomo en el medio ambiente que tienen importancia para la salud humana son las aplicaciones industriales y tecnológicas del plomo. La principal utilización dispersiva y no recuperable del plomo corresponde a la fabricación y uso de derivados alquílicos del plomo que se agregan a los combustibles, así como el de plaguicidas, entre otros.

Es difícil evaluar la contaminación producida por los numerosos artículos que contienen plomo y están sujetos a la acción de la interperie o que se descomponen con el tiempo. De acuerdo con una estimación, cerca del 50% de la pintura en las superficies protegidas con pigmentos a base de plomo se desprenden en un lapso de 7 años. Se ha observado repetidas veces una intensa contaminación del polvo y el suelo en torno a viviendas pintadas con pintura a base de plomo.

La producción de plomo también se puede considerar como una fuente; comprendiendo la minería, fundición y refinación, producción de compuestos y artículos que contienen plomo, evacuaciones de desechos y otros, como son: fundición de cobre, producción de acero y hierro, producción de zinc, cemento, carbón y aceite de quemar (20).

3.2.2 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 a 450°C se convierte a Pb_3O_4 ; su punto de fusión es de 888°C. Toxicidad: $DL_{50} = 400$ 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 (20).

3.2.3 FUENTES NATURALES

Dentro de las fuentes naturales de plomo se pueden mencionar a aquellas que invariablemente se encuentran en el medio ambiente. La contribución de las fuentes naturales a la concentración ambiental por plomo es reducida. A efectos de exposición humana, estas fuentes son insignificantes.

3.2.3.1 ROCAS

A través de distintos procesos de desintegración las rocas liberan plomo que pasa a la biosfera y a la atmósfera y, finalmente, vuelve a la corteza terrestre en forma de rocas sedimentarias.

Las fuentes más importantes son las rocas ígneas y las metamórficas, que tienen concentraciones de 10 a 20 mg/kg (20).

3.2.3.2 SUELO

Los suelos son contaminados por las partículas provenientes de las diferentes operaciones industriales, depósito de partículas del aire, por aguas contaminadas por actividades industriales y de los gases de combustión de combustibles que contienen plomo. El plomo se encuentra normalmente en la corteza terrestre a una concentración de, aproximadamente, 13 mg/kg. La superficie del suelo está en contacto con el medio ambiente, por lo tanto, se deben distinguir entre suelos que adquieren plomo solo de fuentes naturales y suelos contaminados por el hombre. Los suelos ácidos tienen generalmente un contenido de plomo inferior al de los suelos alcalinos, la naturaleza de la materia orgánica del suelo también influye considerablemente sobre su contenido de plomo. Algunas materias orgánicas son ricas en componentes quelantes y forman enlaces con el plomo, ya sea favoreciendo su salida del suelo o fijando el metal, según las propiedades de solubilidad del complejo. Aunque todos estos factores influyen indudablemente en el contenido de plomo de determinados suelos, las concentraciones que generalmente se han observado en zonas alejadas de

la actividad humana son similares a las que se encuentran en las rocas, con valores medios de 5 a 25 mg/ kg. En áreas contaminadas se pueden encontrar en el suelo concentraciones de hasta 8 g/kg (2,20).

Para que la tierra o el polvo callejero constituyan una fuente significativa de plomo para el hombre, es necesario, que sean ingeridos o inhalados. La información disponible de la concentración de plomo en suelo ha mostrado una correlación muy significativa entre la concentración de plomo en sangre y la concentración de plomo en polvo doméstico (20).

3.2.3.3 AGUA

La exposición del hombre al plomo por conducto del agua, es generalmente bajo cuando se le compara con la exposición a través de aire y los alimentos, en algunas circunstancias la concentración de plomo en el agua potable puede ser sumamente elevada (20).

El agua potable puede contaminarse por el plomo del aire y del polvo en los sistemas de distribución que usan tuberías o soldaduras de plomo. El agua al igual que el aire se transforman en una fuente de contaminación para la flora y fauna acuáticas y, para el hombre, en la medida que sea contaminada por actividades antropogénicas. La exposición al plomo a través del agua es, sin embargo, mínima, debido a que forma esencialmente compuestos insolubles del tipo carbonatos y sulfatos; además, el agua potable tiende a tener en líneas generales menor cantidad de plomo que el agua no tratada de la fuente, debido a que el plomo es removido por las plantas convencionales de tratamiento de agua potable. Cuando se detectan niveles elevados de plomo en la red y en los estanques de almacenamiento, especialmente en el caso de aguas blandas y de pH bajo, habitualmente son resultado de la corrosión sobre las estructuras cuando han sido elaboradas con plomo ó se ha utilizado soldadura que lo contenga (2).

El plomo se elimina rápidamente del agua cuando esta atraviesa el suelo y los sedimentos inferiores. Ello se debe a la gran capacidad de las sustancias orgánicas para establecer uniones con el plomo. Gracias a este mecanismo de depuración, las concentraciones en aguas naturales y en el agua de suministro son generalmente bajas (20).

Los análisis de aguas subterráneas han revelado concentraciones de plomo de 1 a 60 µg/L, aunque se ha estimado, a partir de estudios, el contenido global medio en lagos y ríos, y éste es del orden de 1 a 10 µg/L, contaminación que comprende también la producida por el hombre (20).

El agua en áreas no contaminadas presenta naturalmente concentraciones bajas de plomo, 1 µg/L en aguas superficiales y alrededor de 8 µg/L en los ríos. Las concentraciones de plomo en aguas potables han variado mucho; se han verificado niveles de 3.7 hasta 139 µg/L sobrepasando en ocasiones el límite de 50 µg/L establecido por la OMS (2).

Se han descrito casos de saturnismo clínico grave atribuible a agua de suministro que contenía 2.6 mg/l, en otros casos de 2-3 mg/L, en este caso, la causa de la contaminación fue el almacenamiento del agua en tanques de plomo.

La capacidad del agua entubada en cañerías de plomo para disolverlo depende de muchos factores. Su capacidad disolvente se cuadruplica al aumentar la acidez de pH 6 a 4. También se observan incrementos menores al aumentar la alcalinidad de pH 8 a 10. Se ha señalado también que el agua disuelve mejor al plomo al aumentar la temperatura y al disminuir las concentraciones de calcio.

Cuando el agua permanece por largo tiempo en tuberías de plástico, se observa cierta lixiviación del plomo, probablemente del estearato de plomo que se utiliza como estabilizador en la fabricación de plásticos de polivinilo. Sin embargo, es recomendable realizar estudios más profundos, particularmente cuando el agua permanece en las tuberías por periodos prolongados(20).

La química del plomo en solución acuosa es muy compleja porque este elemento puede encontrarse en una multitud de formas. El plomo tiene una tendencia a formar compuestos de baja solubilidad con los mejores aniones encontrados en las aguas naturales. La cantidad de plomo en la superficie del agua es dependiente del pH y del contenido de sales disueltas en el agua. El contenido de sales disueltas, en cambio, es dependiente del pH y de la presión parcial de CO₂ así como de la temperatura del agua. En el medio ambiente, la forma divalente del plomo (Pb²⁺) es la especie iónica estable. El hidróxido, carbonato, sulfuro y raramente sulfato puede actuar como controlador de la solubilidad en precipitados de plomo en aguas. A pH < 5.4 el sulfato de plomo limita la concentración de plomo en solución, con un pH > 5.4 los carbonatos de plomo limitan la concentración de plomo. Los compuestos relativamente volátiles, se forman como resultado de la alquilación biológica de compuestos orgánicos e inorgánicos de plomo por microorganismos en sedimentos anaerobios de lagos; sin embargo, si es sobre la superficie del agua es aerobio, la volatilización de los sedimentos no es considerada importante porque se oxida.

En agua, los compuestos tetraalquílicos son sujetos a la fotólisis y volatilización, mientras que el trietil y el trimetil plomo son más solubles en el agua y de esta manera persisten en el medio ambiente acuoso.

El contenido de plomo en la superficie es menor que el correspondiente a sedimentos de lagos y ríos, se han encontrado concentraciones de 3.9 µg/L a 20,000 µg, respectivamente; de 50, 000 superficies analizadas, y concentraciones de 100,000 µg/g en las costas o riveras de estos ríos analizados (27).

En la tabla 1 se muestran las concentraciones de plomo encontradas correspondientes a distintas muestras recolectadas de diferentes orígenes.

TABLA 1. CONCENTRACION DE PLOMO EN DISTINTAS MUESTRAS DE AGUA

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

3.2.3.4 AIRE

Las fuentes de plomo atmosférico son el polvo de silicato, los aerosoles, haluros volcánicos, los humos procedentes de meteoros y meteoritos y el plomo producido por desintegración del radón (20).

La concentración atmosférica de plomo media, en localidades muy alejadas de la civilización, es del orden de $0.0001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (20).

En la tabla 2, se muestran las concentraciones de plomo encontradas en aire y que corresponden a distintos lugares y regiones que se monitorearon.

TABLA 2. CONCENTRACIONES DE PLOMO EN EL AIRE DE DISTINTAS ZONAS

ZONA	CONCENTRACION DE PLOMO
Lugares remotos	Aprox. $0.1 \text{ ng}/\text{m}^3$
Regiones rurales (cercanas a ciudades)	$0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Ciudades con actividades industrial y vehicular importantes	$1-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Calles urbanas con alto tránsito	$>10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Zonas vecinas a fundidoras	$> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$

No se sabe mucho acerca de la forma química en que se encuentra el plomo en el aire del ambiente general; en estudios realizados se señala que el plomo de los

tubos de escapa se compone inicialmente de haluros que se convierten con el tiempo en óxidos, sulfatos y carbonatos (20).

3.2.3.5 PLANTAS

El plomo existe de manera natural en todas las plantas, al igual que en el suelo, aire y agua. 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. El plomo del suelo puede ser absorbido por las raíces o tubérculos cultivados en suelos contaminados (2,20,28).

3.2.3.6 ALIMENTOS

La cantidad de plomo ingerida a través de los alimentos varía mucho, según el tipo de producto y el origen del mismo. Determinaciones en algunos países demostraron que el aporte de plomo puede ser de 1.5 mg/kg. en condimentos, 0.2 a 2.5 mg/kg. en pescados y mariscos, de hasta 1.3 mg/kg. en cereales y legumbres, chiles en vinagre con 1.74 mg/kg., jugos de frutas 0.65 mg/k, verduras y cítricos cultivados en las cercanías de carreteras altamente transitadas inferior a 1 mg/kg. Debido a esta problemática varios países han fijado 2 mg/kg como límite legal del contenido de plomo en los alimentos (2,28).

La tabla 3 indica las concentraciones de plomo que fueron encontradas al analizar distintos alimentos.

TABLA 3. CONCENTRACIONES DE PLOMO EN ALIMENTOS

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

ALIMENTO	CONCENTRACION DE PLOMO mg/kg
Coliflor*	< 0.1
Jitomate*	< 0.1
Col*	< 0.1
Fresa*	< 0.1
Naranja*	< 0.1

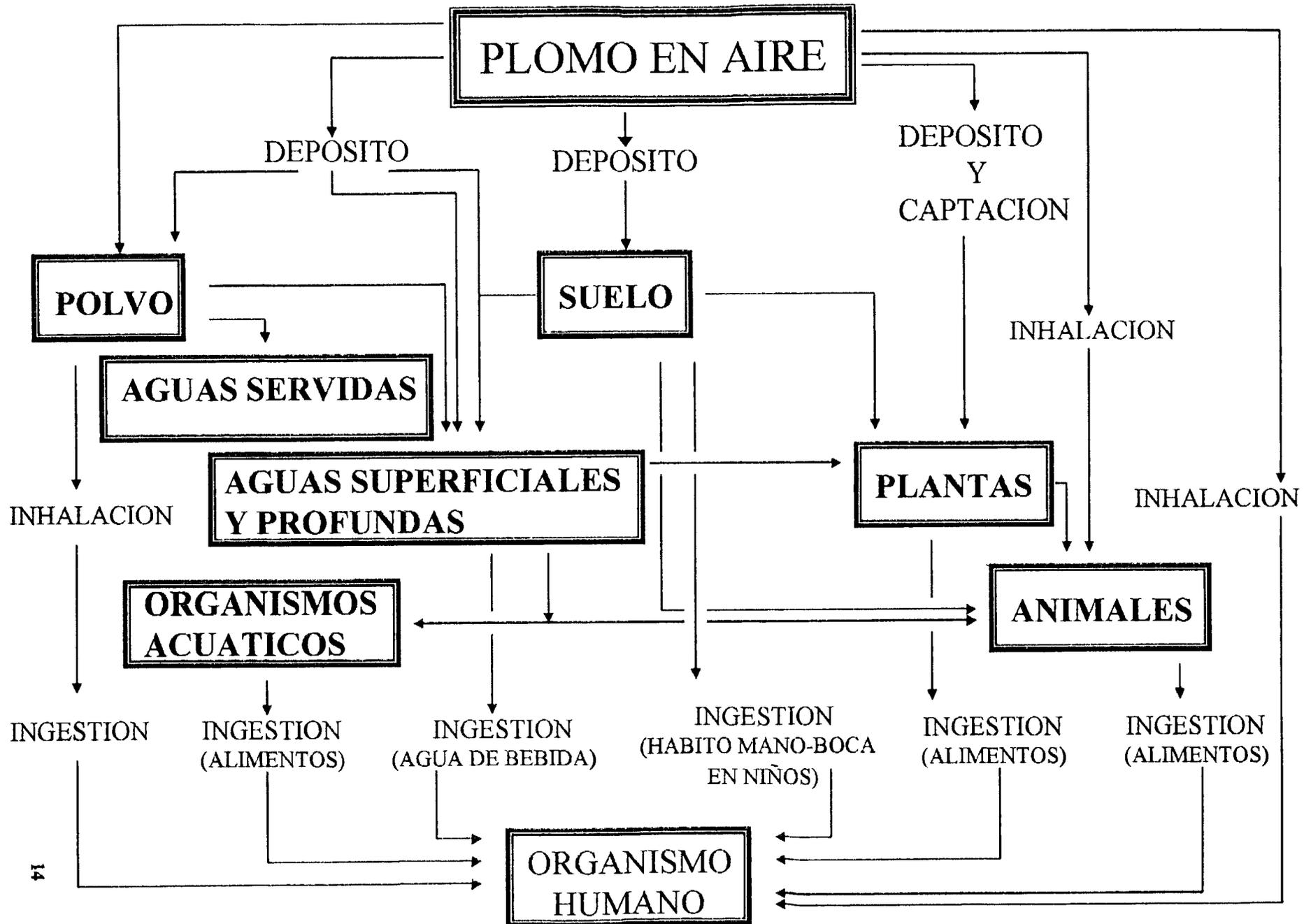
*Son vegetales y frutas que han sido cultivados en las cercanías de carreteras altamente transitadas (2).

Fuentes muy importantes de contaminación de alimentos con plomo son los utensilios metálicos de cocina que contengan 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, aguas 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 del pH y de la tecnología de la conservería (2).

Si bien, en general, la mayor fuente del plomo ingerido es por los alimentos, alrededor del 90% del plomo ingerido con los alimentos es eliminado por las heces; de este modo la importancia de la ingestión de plomo es significativa sólo cuando existe un muy alto índice de contaminación ambiental que repercuta en los alimentos (2).

En la figura 1 se muestra como es la distribución y redistribución del plomo en el medio ambiente. Se puede observar como a partir del plomo del aire se origina contaminación de suelo, agua, y plantas.

FIGURA 1. IMPORTANCIA DEL PLOMO ATMOSFERICO EN LA CONTAMINACION GLOBAL DEL AMBIENTE



3.2.4 FUENTES ANTROPOGENICAS

Dentro de las fuentes no naturales o antropogénicas de plomo se pueden citar aquellas que dependen directamente de las diferentes actividades humanas relacionadas al plomo y sus compuestos. Representan fuentes de contaminación en el ambiente ocupacional.

La minería, la fundición y la refinación, así como la producción de compuestos y artículos que contienen plomo, pueden dar lugar a emisiones de plomo.

3.2.4.1 MINERIA

El plomo se obtiene de minerales metalíferos y mediante su recuperación en productos plumbíferos. Se encuentra en distintos minerales; galena (PbS), cerusita ($PbCO_3$) y la anglicista ($PbSO_4$). Frecuentemente se encuentra en yacimientos asociados a otros minerales principalmente zinc y cobre (20).

3.2.4.2 FUNDICION Y REFINACION

La fundición y la refinación son procesos primarios y secundarios; con los primarios se produce el plomo a partir de concentrados; con los segundos se recupera plomo de los desechos, que generalmente se encuentran cerca de asentamientos humanos (20).

Dentro de estas fuentes se encuentran, además, todos los compuestos de plomo que son utilizados en la industria como: derivados alquílicos de plomo como aditivos antidetonantes, industrias de cables, pinturas a base de plomo, plaguicidas (arseniato), industria de la construcción, tuberías plegables, blindajes contra radiaciones y alfarería (20).

3.3 EXPOSICION

3.3.1 EXPOSICION DE LA POBLACION GENERAL

La población general está expuesta al plomo por ingestión de los alimentos y agua ya contaminados, así como por inhalación de aire y polvo contaminado. De esta manera la población general se encuentra expuesta al plomo mediante el aire que respira, el agua que utiliza para tomar, y para hacer y preparar sus alimentos así como para su propia higiene, los alimentos que pueden ser contaminados durante su

preparación o conservación en los recipientes indebidamente vidriados y también por depositación y/o captación del metal en su lugar de producción (20).

Otra fuente importante de exposición frecuente es el hábito de fumar, probablemente contribuye poco a la ingesta de plomo. Estudios hechos a dos marcas y a una mezcla encontraron concentraciones de 21, 84 y 41 $\mu\text{g}/\text{cigarrillo}$ (20).

Otra fuente de intoxicación son los recipientes de cerámica inadecuadamente barnizados, ya que éste da lugar a la lixiviación de plomo, particularmente cuando el contenido es ácido.

También constituye una fuente de contaminación en la población general el uso como combustible de las cajas de acumuladores viejos.

Los cosméticos faciales han sido desde hace mucho causa de saturnismo en países orientales.

Otra fuente de exposición son los impresos en color, cuya pintura contiene plomo, así como la pintura de los hogares. Los niños y los miembros de la familia pueden estar expuestos en el hogar a contaminación por plomo causada por ropa de trabajo usada en casa o llevada al hogar para limpiarla, o bien por piezas de metal llevadas al ambiente doméstico (20).

3.3.2 EXPOSICION OCUPACIONAL

Las exposiciones más elevadas y prolongadas se dan entre los trabajadores que funden, refinan y utilizan plomo para la fabricación de artículos comerciales.

La vía principal de exposición al plomo en la industria es por inhalación. La generación de polvo y vapores portadores de plomo es inevitable. La vestimenta de los trabajadores puede ser también una fuente importante de exposición.

Los riesgos derivados de la minería del plomo dependen, en cierta medida de la solubilidad del plomo contenido en las minas. El sulfuro de plomo (PbS) en la galena es insoluble y la absorción por vía pulmonar es reducida. Sin embargo, en el estómago, parte del sulfuro de plomo puede convertirse en cloruro de plomo ligeramente soluble que, entonces, se puede absorber en cantidades moderadas.

El proceso de fundición y refinación del plomo es probablemente el que, de todas las industrias de este metal, presenta el grado máximo de exposición. Las operaciones de mayor riesgo son aquellas en que el plomo fundido y las aleaciones de plomo se calientan a temperaturas elevadas con desprendimiento de vapores de plomo. Esto se debe a que el vapor de plomo condensado tiene en gran abundancia, partículas pequeñas de tamaño respirable ($<5\mu\text{m}$).

Se consideran también fuentes ocupacionales la fabricación de acumuladores, los trabajos de imprenta, fabricantes de derivados alquílicos de plomo, fabricantes de pinturas y plásticos (20).

3.4 ABSORCION

Se estima que la absorción total diaria de plomo en la población no ocupacionalmente expuesta varía de 150 a 300 μg siendo un bajo porcentaje de este por el aire inhalado y el resto por los alimentos. Aparentemente la absorción de plomo es más peligrosa por vía respiratoria que por vía oral, debido al tamaño de la partícula ya que son menores de un micrómetro, siendo fácilmente incorporadas en los alvéolos (2,28).

La absorción de plomo de fuentes ambientales no depende exclusivamente de la cantidad de plomo presente ante las vías de entrada al organismo por unidad de tiempo. Depende también, del estado físico y químico en que se encuentre el metal (compuestos orgánicos o inorgánicos) y de factores vinculados con el organismo receptor, como son: la edad y el estado fisiológico. La cantidad de alimento ingerido y de aire respirado, con la correspondiente ingestión o inhalación de plomo, son funciones de la actividad metabólica. Además, la biomasa absorbe plomo por acumulación superficial de partículas y por transferencia secundaria de las mismas del suelo a las plantas y de las plantas a los animales (20).

Se ha demostrado que el consumo en la dieta de ciertos nutrientes, incluyendo algunos minerales como: calcio, fósforo, hierro y zinc, vitaminas como la "C", "E" y la tiamina, pueden reducir la absorción del plomo que ingieren los niños, (por lo tanto, la educación en materia de nutrición, orientada a incrementar los niveles de estos nutrientes en la dieta diaria sería ventajoso). (9).

El plomo absorbido es transportado por la sangre, en donde establece un rápido equilibrio entre eritrocitos y plasma, en una proporción de 16:1, a diversos órganos y tejidos, principalmente los huesos (2).

3.4.1 INHALACION

Aproximadamente el 35% del plomo inhalado con el aire del ambiente general se deposita en las vías respiratorias, (sea éste inorgánico u orgánico) el depósito tiene lugar principalmente en el lecho alveolar y en las regiones más profundas del sistema traqueobronquial. Así, el polvo de plomo generado en un medio industrial se deposita en las vías respiratorias en mayor proporción que el plomo que se encuentra en el aire del ambiente general; sin embargo, el depósito se haría mucho más en la nasofaringe que en el lecho pulmonar o, en la región traqueobronquial, debido al tamaño mayor de la partícula. Después de la deposición del plomo en la nasofaringe, la tráquea, los bronquiolos y los alveolos, parte de las partículas inhaladas ascienden por acción de los cilios, pasan al esófago y se absorben parcialmente en el tracto gastrointestinal. Las partículas restantes que llegan hasta los alveolos, son absorbidas y pasan hasta la sangre. En cambio, la absorción de plomo depositado en las vías respiratorias terminales es rápida, extensiva y prácticamente total y es un proceso independiente de la forma química del compuesto de éste metal. El destino del plomo depositado en las

vías respiratorias varía grandemente según sus características de solubilidad y la toxicidad de las partículas para el mecanismo de eliminación (macrófagos y cilios pulmonares). Las partículas que no son absorbidas, digeridas ó eliminadas en las secreciones, van a constituir depósitos de plomo en el árbol respiratorio, que es eliminado posteriormente por acción de cilios y macrófagos. Solo entre un 35 a 50% del plomo que alcanza el tracto respiratorio inferior es absorbido y pasa al torrente sanguíneo (2,20).

3.4.2 TRACTO GASTROINTESTINAL

La absorción gastrointestinal en adultos representa menos del 10% del ingerido. La tasa de absorción a nivel intestinal es igualmente independiente de la forma química del compuesto; sin embargo, los compuestos orgánicos son los que se absorben más extensivamente. En niños, principalmente lactantes, la contribución del plomo ingerido al plomo sanguíneo es más elevado que en adultos, llegando a ser la absorción del plomo ingerido del orden del 50% (2).

Cuando las cantidades de plomo ingerido con los alimentos o el agua son suficientes, es probable que aparezcan intoxicaciones a mediano o largo plazo, aunque los estudios respecto a la absorción no sean concluyentes (2).

3.4.3 CUTANEA

La absorción cutánea solo tiene importancia ante el contacto con compuestos orgánicos de plomo, presentándose ésta con mayor frecuencia en el ambiente ocupacional (2).

3.5 DISTRIBUCION Y RETENCION

Como ocurre con todas las sustancias que entran al organismo, una dosis única de plomo se distribuye de acuerdo con la tasa de flujo sanguíneo a los distintos órganos y sistemas. A partir de estos se produce la redistribución a los distintos órganos y sistemas en proporción a sus respectivas afinidades por el plomo. En condiciones de ingestión continua durante periodos prolongados se llega a un estado casi estable en lo que respecta a la distribución en los distintos compartimentos (8).

El plomo se acumula en el organismo, por decirlo así, en un compartimento amplio de renovación lenta y en otro más pequeño donde la renovación es más rápida (hueso y sangre). Aproximadamente el 95% del plomo corporal total se encuentra en los huesos (2).

La cinética de distribución y acumulación del plomo en el hombre no se ha definido. Sin embargo, es manifiesto que el plomo tiene una fuerte tendencia a localizarse y acumularse en los huesos. Las rutas que sigue el plomo en el organismo son similares a los movimientos del calcio. A partir de datos de autopsia se sabe que el plomo tiene una fuerte tendencia a localizarse y acumularse en los huesos, los cuales reflejan la exposición humana a largo plazo. Los tejidos blandos y la sangre, que después de un tiempo establecen un rápido equilibrio respecto al plomo, reflejando así una exposición reciente (2,20).

El plomo inorgánico se acumula en el organismo humano preferentemente en los huesos, luego se le encuentra especialmente en el hígado, los riñones y los músculos estriados. La vida media del plomo en el organismo es en general larga y variable según los tejidos. Se conocen valores de vida media del plomo en sangre, tejidos blandos y huesos de aproximadamente 3-4 semana, 4 semanas y 20-27 años respectivamente (2).

La absorción y acumulación del plomo en ciertos animales y plantas es de gran importancia por el peligro que la ingestión frecuente y prolongada de éstos por el hombre puede significar, ya que se han tenido evidencias de intoxicación por este mecanismo (2).

En los niños el sistema esquelético crece de manera exponencial, en la primera infancia el esqueleto aumenta 40 veces su masa original y durante este período tiene una mayor capacidad para acumular el plomo en dicho sistema.

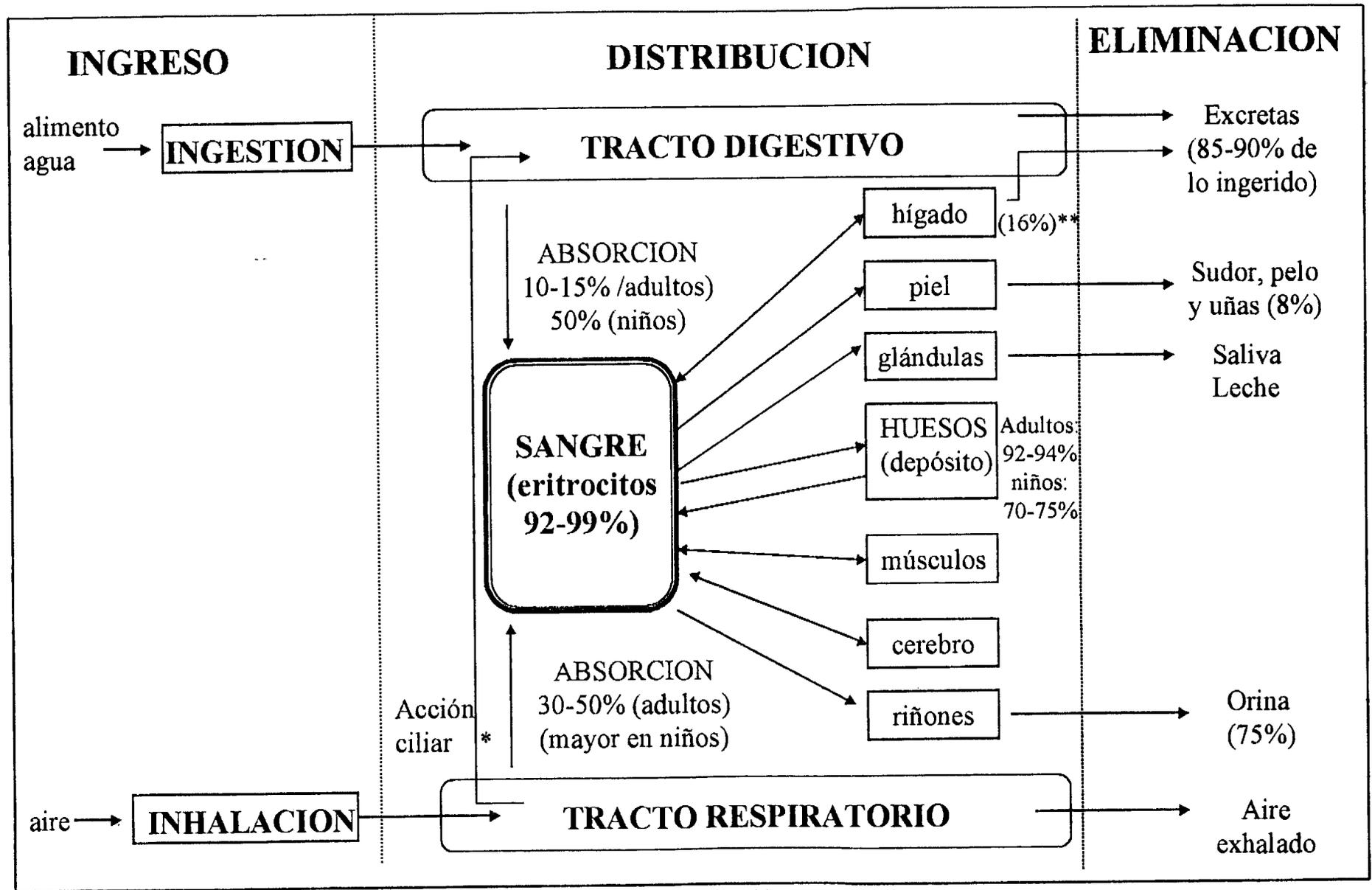
3.6 ELIMINACION

Se cree que la eliminación de plomo del organismo se realiza principalmente por la orina y excreciones gastrointestinales (heces y bilis). Poco se sabe acerca de diversas vías de excreción como el sudor, la exfoliación cutánea y la pérdida de cabello (20).

La eliminación del plomo ingerido se hace principalmente por las heces como reflejo de la pobre absorción a nivel intestinal. No así, la eliminación de plomo absorbido por el organismo se lleva a cabo principalmente a través de la orina (75%), seguido de las secreciones gastrointestinales (16%) y por el cabello, uñas y sudor (8%). Es excretado también a través de la leche en una concentración similar a la del plasma (2,20).

En la figura 2, se puede apreciar de una forma más clara las vías de absorción, distribución y eliminación del plomo en el organismo humano.

FIGURA 2. VIAS DE ABSORCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y ELIMINACIÓN DE PLOMO EN EL ORGANISMO HUMANO



* Puede deglutirse hasta un 40% del plomo inhalado como partículas de diámetro mayor.

** Implica secreciones gastrointestinales, que incluyen la bilis

3.7 EFECTO TOXICO

El mecanismo tóxico del plomo está dado por tres modalidades; una es compitiendo con los metales esenciales, especialmente calcio y zinc, en sus sitios de inserción; otra es mediante su afinidad por los grupos sulfhidrilo (-SH) de las proteínas, lo que significa alteración de la forma y de la función de éstas y dado que numerosas proteínas, entre ellas enzimas, poseen grupos sulfhidrilo -SH, las alteraciones fisiológicas pueden ser muy generalizadas en el organismo, finalmente, también actúa alterando el transporte de iones esenciales.

Las deficiencias de hierro y calcio en el organismo hacen más evidentes, respecto a la anemia, los efectos del plomo en él. Estas diferencias asociadas a una dieta rica en vitamina "D" o en lípidos, pueden favorecer la absorción de plomo en el tracto digestivo. El plomo utiliza los mismos mecanismos de absorción, distribución y acumulación que el calcio. Se ha comprobado un efecto antagónico del zinc con la depresión de la actividad de la enzima deshidrasa del ácido delta aminolevulinico (AAL-D) que participa en la síntesis del grupo hemo de la hemoglobina, causada por el plomo (2).

Los efectos tóxicos característicos del tetraetilo y tetrametilo de plomo son causados por los compuestos tetraalquilo propiamente dicho, sino por los derivados trialquílicos formados por dealquilación en el hígado. El tetraetilo de plomo comienza transformándose sobre todo en trietilo y parcialmente en plomo inorgánico (20).

3.8 INTOXICACION

En los estados iniciales, los pacientes presentan anemia, debilidad y cansancio, dolor de cabeza, dolor muscular, irritabilidad, falta de atención, dolor de estómago y abdomen, estreñimiento y a menudo náuseas; en un estado más avanzado en los eritrocitos aparecen punteos con una disminución de la actividad enzimática. Una intoxicación avanzada, involucra al sistema nervioso, lo cual hace que tenga una gran variedad de síntomas, desde mareos, convulsiones epileptiformes, pérdida de equilibrio (en niños), pérdida del movimiento en músculos (como los de la mano que se ve flácida), los nervios oculares son afectados llegando a perder la vista, también se presenta un exceso de líquido cerebroespinal (28).

El plomo es un agente tóxico que se acumula progresivamente en el organismo humano, lo que condiciona que el cuadro clínico de intoxicación plúmbica (aparición de signos y síntomas) sea, en la mayoría de los casos, de instalación lenta (2).

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

Desde el punto de vista toxicológico, "se entiende por dosis la cantidad o concentración de una sustancia química determinada en el sitio del efecto, esto es, en el lugar donde su presencia origina un efecto determinado" (20).

Aunque los efectos biológicos del plomo en el hombre se han determinado con detalle, nunca o muy raras veces, se conocen las dosis precisas que causan los efectos respectivos. Además, se deben considerar las diferencias en la susceptibilidad de los individuos y variables que pueden modificar la susceptibilidad, como puede ser: el estado nutricional, la edad y la presencia o ausencia de enfermedades como alcoholismo y tabaquismo (2,20).

Las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones con este metal pueden ser agudas o crónicas, en general de carácter sistémico. Las intoxicaciones agudas son raras y se producen de preferencia en ambientes laborales y, con cierta frecuencia en niños de la población general (2).

Las intoxicaciones que se pueden presentar en la población general, salvo situaciones de accidentes o contaminaciones masivas, en general suelen ser de carácter crónico, constituye la situación más frecuente y, con mucha probabilidad, el problema epidemiológico de mayor importancia (2).

Se ha descrito una serie heterogénea de signos y síntomas generales e inespecíficos, tales como: decaimiento, fatiga, dolores articulares, tos, impotencia sexual, palidez, temblor, ataxia, malestar general, confusión, dolor de cabeza, convulsiones, cambios de personalidad, debilidad de extremidades, parestesia de manos y pies, irritabilidad, pérdida de la memoria, alucinaciones, atrofia cortical, hidrocefalia, ceguera, cólico, pérdida del apetito, náuseas, vómito, constipación, anemia hipocrómica normocítica, eritroblastos binucleados, incremento del hierro plasmático y eritrocitos con punteado basófilo, hiperuricemia, nefritis, glucosuria e hiperaminoaciduria (1,2).

3.9 EFECTOS DEL PLOMO SOBRE LA SALUD

El plomo es 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; además de que tiene relación con el tipo de exposición, ocupacional o no ocupacional.

Debido a la variedad e inespecificidad de los signos y síntomas de la intoxicación, la identificación adecuada del cuadro clínico resulta difícil en ausencia de los datos sobre exposición al plomo, siendo más complejo en la población general (2).

Las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones con éste metal pueden ser agudas o crónicas, en general de carácter sistémico. Las intoxicaciones que se pueden presentar en la población general, salvo situaciones de accidentes o contaminaciones masivas, en general suelen ser de carácter crónico. En la población ocupacional es frecuente encontrar tanto intoxicaciones agudas como crónicas muy características(8).

Los principales efectos que ocasiona el plomo en el organismo humano son dependientes de una serie de factores propios del individuo expuesto, la edad y condiciones fisiológicas, así como las condiciones bajo las cuales el individuo es expuesto al metal. Aunque los efectos biológicos del plomo en el hombre se han determinado con cierto detalle, nunca, o muy raras veces, se conocen las dosis precisas del plomo que causan los efectos respectivos en el sistema hematopoyético, sistema nervioso central y periférico, en el riñón, gastrointestinales, cardiovasculares, sistema reproductor, carcinogenicidad y teratogenicidad (2,20).

3.10 EFECTOS DEL PLOMO EN LA SALUD INFANTIL

3.10.1 FUENTES Y VIAS DE INTOXICACION POR PLOMO EN NIÑOS

Las fuentes de exposición al plomo en los humanos pueden clasificarse en dos grupos, de acuerdo con las poblaciones afectadas: uno se refiere a las industriales y ocupacionales, y el otro a las "domésticas", cuyas poblaciones blanco incluyen a los adultos que no trabajan directamente con plomo y a los niños y en las cuales los niveles de exposición están determinados por el ambiente, las costumbres y los hábitos. Dada la variada y heterogénea naturaleza de las fuentes domésticas de exposición a plomo, las estrategias para su control y prevención resultan más complejas que las relacionadas con las fuentes ocupacionales.

En la mayoría de las naciones de América, las principales fuentes domésticas que contribuyen a elevar los niveles de plomo en sangre en los niños son el tráfico vehicular y la contaminación del aire ocasionada por el uso de la gasolina con plomo. Otras fuentes importantes son el uso de loza de barro que contiene plomo, la aplicación de pintura a base de plomo en las viviendas, y el consumo de agua que circula en tubos que contienen este metal y de alimentos almacenados en latas con soldadura de plomo. La principal vía de exposición en los niños es el aparato digestivo. Los niños pequeños se caracterizan por explorar su contorno con las manos y la boca, lo cual da como resultado que muchos ingieran partes de objetos y productos con pintura a base de plomo, fenómeno conocido como "pica". Por otra parte, el organismo de los niños tiene la capacidad de absorber el plomo en porcentajes más altos que el de los adultos: los niños absorben aproximadamente el 50% del plomo de su dieta; los adultos tienen una tasa de absorción de alrededor de 5-10%. La cantidad total de plomo consumida también puede incidir en la tasa de absorción infantil. Se ha demostrado que, cuando la cantidad de plomo ingerido supera los 5 mg/kg de peso corporal, los niños absorben y retienen relativamente más plomo.

Las fuentes de plomo que ingieren varían según la época, la región y el grupo de niños estudiado. Así, las principales fuentes de intoxicación por plomo en los niños incluyen la ingestión del polvo de la casa contaminado con el plomo que accidentalmente acarrear al hogar los padres que son obreros de las industrias, los suelos contaminados en áreas cercanas a fundidoras, las pinturas a base de plomo en

las paredes de las casas, el agua de la llave contaminada con plomo, por último, el polvo procedente de las fábricas de cerámica con plomo (9).

3.10.2 EVOLUCION DEL MANEJO CLINICO DE LOS RIESGOS DE LA INTOXICACION POR PLOMO EN NIÑOS

La evolución en el manejo clínico de los peligros de la intoxicación por plomo en los niños, ha tenido dos momentos de definición: el primero se dio a final del siglo XIX, cuando se reconoció que el plomo es un veneno. Esta situación resultó del análisis de una serie de casos clínicos, de niños con altos niveles de plomo en sangre que mostraban síntomas concomitantes de parálisis y oftalmoplegia. En consecuencia, las estrategias de prevención y control se orientan a la rápida identificación de las poblaciones expuestas (básicamente industriales), a la descripción de las fuentes de intoxicación y a los intentos por reducir los efectos agudos de la intoxicación. A partir de este informe, se orientaron las intervenciones en salud pública hacia el estudio y control de la intoxicación aguda por plomo y a sus efectos sobre la salud, incluyendo el cólico plúmbico, la encefalopatía, la anemia y los daños renales.

Hacia 1960, se inició la segunda fase con el uso de marcadores biológicos para los niveles de exposición bajos y de la identificación clínica de los efectos nocivos sobre la salud. Estos avances cambiaron el modelo médico y de salud pública de la intoxicación por plomo, por otro de amplia aceptación: ningún nivel de exposición a plomo puede considerarse seguro.

La creciente aceptación de los peligrosos efectos que tiene el plomo ha llevado a una gradual reducción de los niveles aceptables de plomo en sangre. Así, en 1960 el límite era de 60 µg/dL, después 40 µg/dL en 1971, 30 µg/dL en 1975, 25 µg/dL en 1985 y en 1990 el límite mas alto aceptable era de 15 µg/dL. La acumulación de información epidemiológica ha demostrado, en forma convincente, la existencia de neurotoxicidad en niños expuestos a plomo en niveles inferiores a los 15 µg/dL y, en consecuencia, los Centros para la Prevención y el Control de las Enfermedades, de los EUA (CDC) han reducido su límite aceptable de plomo en sangre a 10 µg/dL. (CDC, 1991).

La reducción en los límites aceptables es consecuencia, en gran medida, de la creciente sofisticación de los métodos de detección. Los marcadores biológicos empleados en los estudios hechos en niños incluyen la medición de plomo en sangre, en dientes, en pelo y en hueso (9).

3.10.3 SIGNOS Y SINTOMAS DE LA INTOXICACION AGUDA POR PLOMO EN NIÑOS

En los niños que no presentan encefalopatía, la intoxicación por plomo se caracteriza por uno a varios de los siguientes síntomas: disminución de la actividad, letargia, anorexia, vómito esporádico, dolor abdominal intermitente y constipación. En

los casos de intoxicación aguda, la encefalopatía puede diagnosticarse con los siguientes síntomas: coma, convulsiones, alteraciones del comportamiento, apatía, falta de coordinación, vómito, alteración de la conciencia y pérdida de habilidades recientemente adquiridas.

El plomo es un neurotóxico que afecta el neurodesarrollo de los niños. Se ha demostrado que los niños que se encuentran en alto riesgo de exposición a plomo presentan puntajes más bajos de inteligencia, de acuerdo con la prueba de evaluación que se aplique (9).

3.10.4 CONCLUSIONES

En México, como en muchos otros países de la región, uno de los grandes retos es el de convencer a las autoridades de salud acerca del alcance y la gravedad de la intoxicación por plomo en los niños. Para lograrlo son necesarios más procesos de identificación y monitoreo de los niveles de plomo en los niños que corren mayor riesgo, así como reforzar la preparación médica a fin de que los pediatras y el resto del personal de salud sepan detectar los signos, síntomas y efectos de la intoxicación por plomo. Los niveles de plomo en sangre deben medirse al menos una vez en los niños que se encuentran en alto riesgo, durante el primer año de vida y el personal médico debe estar preparado para asesorar a los padres en cuanto a la manera de reducir la exposición del infante o del niño al plomo. En particular deben reducirse las fuentes de exposición doméstica - brindando información acerca de los peligros que representa la utilización de las ollas de barro en la preparación y almacenamiento de los alimentos (9).

Como se muestra en la figura 3, se puede observar, de una manera más clara, las concentraciones de plomo en sangre a las cuales se presentan los distintos efectos en la salud, tanto en niños como en adultos.

FIGURA 3. EFECTOS DEL PLOMO INORGANICO EN NIÑOS Y ADULTOS; EFECTOS NOCIVOS SOBRE LA SALUD EN LOS NIVELES MAS BAJOS OBSERVABLES

NIÑOS	PLOMO EN SANGRE (µg/dL)	ADULTOS
<p>MUERTE</p> <p>ENCEFALOPATIA</p> <p>NEFROPATIA</p> <p>ANEMIA FRANCA</p> <p>COLICO</p>	<p>150</p> <p>100</p>	<p>ENCEFALOPATIA</p> <p>ANEMIA FRANCA</p> <p>DISMINUCION DE LA LONGEVIDAD</p>
<p>SINTESIS DE HEMOGLOBINA ↓</p>	<p>50</p> <p>40</p>	<p>SINTESIS DE HEMOGLOBINA ↓</p> <p>NEUROPATIAS PERIFERICAS</p> <p>ESTERILIDAD EN HOMBRES</p> <p>NEFROPATIA</p>
<p>METABOLISMO DE LA VITAMINA D ↓</p>	<p>30</p>	<p>PRESION SANGUINEA SISTOLICA EN HOMBRES ↑</p> <p>AGUDEZA AUDITIVA</p> <p>PROTOPORFIRINA ERITROCITICA EN HOMBRES ↑</p>
<p>VELOCIDAD DE LA CONDUCCION NERVIOSA ↓</p> <p>PROTOPORFIRINA ERITROCITICA ↑</p> <p>METABOLISMO DE LA VITAMINA D (?) ↓</p> <p>INTOXICACION DE LOS PROCESOS DE DESARROLLO</p>	<p>20</p> <p>10</p>	<p>PROTOPORFIRINA ERITROCITICA EN MUJERES ↑</p> <p>HIPERTENSION (?) ↑</p>
<p>CLORO ↓</p> <p>AUDICION ↓</p> <p>CRECIMIENTO ↓</p> <p>TRANSFERENCIA TRANSPLACENTARIA</p>		<p>↓ DISMINUCION DE LA FUNCION</p> <p>↑ AUMENTO DE LA FUNCION</p>

3.11 EFECTOS DEL PLOMO EN LA SALUD DE LOS ADULTOS

La intoxicación por plomo sigue siendo una de las enfermedades de origen ocupacional, para-ocupacional y ambiental, con mayor prevalencia en los adultos. Desafortunadamente, a menudo el diagnóstico clínico de la intoxicación por plomo en los adultos se complica debido al carácter variable y poco distintivo de los síntomas y signos que se presentan. Por lo tanto, para diagnosticar correctamente a un sujeto con intoxicación con plomo son necesarios: el entrenamiento clínico adecuado; la elaboración de una historia clínica completa desde el punto de vista ocupacional y ambiental; los laboratorios con instalaciones que permitan la existencia de plomo; y, los profesionales de la salud conscientes del problema.

Para poder comprender el problema que implica la intoxicación por plomo en adultos, es necesario tomar en cuenta los factores específicos que predisponen o que agravan los efectos del plomo. A continuación se numeran algunos:

1. La concentración y el tipo de plomo (plomo inorgánico vs alquilatos de plomo) en la fuente de exposición.
2. El tiempo de exposición.
3. La vía de entrada al organismo del adulto.
4. La condición nutricional y el estado de salud previo del sujeto.
5. La edad del sujeto expuesto.
6. Los hábitos y comportamientos del sujeto con respecto a su salud (por ejemplo fumar en un ambiente contaminado).
7. La raza y el sexo a los que pertenece el sujeto.

La condición de los factores anteriores incidirá en la susceptibilidad del individuo expuesto, así como en la naturaleza y el alcance de su padecimiento. Asimismo influirá en la selección de estrategias para prevenir o controlar mejor una exposición ambiental u ocupacional en particular (9).

3.12 LIMITES

Los límites establecidos de exposición al plomo han tomado en cuenta las diferentes fuentes de exposición y la suma total de las cantidades con que cada una de

aquellas contribuye efectivamente a la cantidad final de plomo que va a ingresar y ser absorbido por el organismo.

Es importante tener presente que, en el caso particular del plomo, los límites históricamente observados o establecidos para diferentes efectos tienden, en la actualidad, a ser ajustados permanentemente hacia abajo, o sea, a ser más estrictos, a medida que mediciones experimentales y clínicas cada vez más sensibles van detectando efectos adversos de importancia a concentraciones menores de plomo en sangre (2).

3.12.1 LIMITES OCUPACIONALES

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 (2).

TLV-TWA = 0.15 mg/m^3 , valor promedio para plomo, compuestos inorgánicos, polvos y humos.

TLV-TWA = 0.10 mg/m^3 , valor promedio para compuestos orgánicos.

STEL = 0.45 mg/m^3 , para 15 minutos para humos y polvo con plomo inorgánico.

TLV = 0.2 mg/m^3 .

TLV = menos de 0.1 mg/m^3 .

TLV-TWA = variable de $30\text{-}60 \text{ }\mu\text{g/m}^3$; $60 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ y $40 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ para hombre y mujer en edad fértil respectivamente.

En cuanto a exposición ocupacional se han establecido márgenes de riesgo para algunos indicadores biológicos, que se muestran en el cuadro siguiente.

TABLA 4. GRADO DE RIESGO SEGUN INDICADOR

INDICADOR	NORMAL	ACEPTABLE	EXCESIVO	PELIGROSO
Pb-S ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)	< 10	40-80	80-120	> 120
AAL-U ($\mu\text{g}/\text{L}$)	< 5	6-20	20-40	> 40
CP-U ($\mu\text{g}/\text{L}$)	< 150	150-500	500-1500	> 1500
Pb-U ($\mu\text{g}/\text{L}$)	< 80	80-150	150-250	> 250

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

3.12.2 LIMITES AMBIENTALES

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 ejemplo, en lo que se refiere a su utilización como antidetonante en la gasolina (2).

Los valores límite establecidos para el plomo en los ámbitos no ocupacionales son los siguientes:

Agua potable = 0.025 mg/L.

Suelo = hasta 25 mg/kg.

Alimentos = 3 mg/persona adulta/semana.

Aire = 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (concentración media anual).

Aire = 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aire = 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En relación al plomo se dispone de antecedentes suficientes como para recomendar la aplicación de métodos de monitoreo biológico que permita 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.

a) Plomo en sangre:

- Límite de tolerancia biológica (LTB) de 20 $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ para hombres adultos y de 20 $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ para mujeres en edad fértil, de 10 $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ para niños.

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 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina.

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

d) Protoporfirina libre de eritrocitos: LTB de 300 $\mu\text{g}/100\text{ mL}$.

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

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

g) Plomo en cabello: LTB de 70 $\mu\text{g}/\text{g}$ (2).

Otros indicadores son : Deshidratasa del Acido Delta Amino Levulínico, Protoporfirina Eritrocítica Zn, Hemoglobina, Reticulocitos y Punteado Basófilo Eritrocitario.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Cuantificar el contenido de plomo en suelo y agua de uso doméstico, por medio de espectrofotometría de absorción atómica, de las comunidades de Boxasni y La Magdalena en el municipio de Cadereyta, Querétaro. Así como, determinar los sitios, de estas comunidades, que sobrepasan los límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana, en el caso de agua.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar la concentración de plomo en suelo y en agua de uso doméstico, de las comunidades de Boxasni y La Magdalena en el municipio de Cadereyta, Qro., debido a que su actividad económica predominante es la alfarería.

Evaluar si las concentraciones de plomo en agua rebasan los valores máximos establecidos por la Norma Oficial Mexicana.

Establecer si las concentraciones de plomo en suelo y agua representan una ruta importante de ingreso de plomo al organismo humano; y que, por lo tanto, contribuyen a alcanzar los niveles del metal encontrados en la sangre de los miembros de las comunidades antes mencionadas.

Determinar si el desempeño de la alfarería en estas comunidades incrementa el contenido de plomo en aguas almacenadas provisionalmente, para uso doméstico, en recipientes de plástico, barro o metal, así como en piletas.

5. HIPOTESIS

Las concentraciones de plomo en el agua de uso doméstico, en las comunidades de Boxasní y La Magdalena, sobrepasan el valor límite establecido por la Norma Oficial Mexicana.

Las concentraciones de plomo en suelo y agua son superiores en los hogares donde se encuentran ubicados los talleres familiares de alfarería, con respecto al resto de las viviendas.

El plomo presente en suelo y agua representa una ruta importante que contribuye de manera significativa a alcanzar los niveles sanguíneos del metal detectados en la población.

6. METODOLOGIA

6.1 METODOS

6.1.1 MUESTREO

En la recolección de las muestras de suelo y agua, se consideraron las comunidades de Boxasni y La Magdalena, puesto que la mayoría de sus miembros depende económicamente de la fabricación de alfarería, quienes utilizan PbO para el vidriado de sus artículos. Además, de que en estudios previos se han detectado elevados niveles de concentración de plomo en los recipientes que fabrican y en la sangre de las personas; especialmente en los niños.

Por lo anterior, la toma de muestras de suelo se realizó tomando en cuenta los sitios de los hogares, calles, escuelas y talleres donde los miembros de familia, principalmente los niños, permanecen por más tiempo.

Referente a la toma de muestras de agua, ésta se llevó a cabo con la finalidad de saber los niveles de plomo en la misma, además se tomaron muestras de la llave y de los depósitos con la finalidad de saber, en caso de que se encontrara el tóxico, si éste proviene de la red de agua potable, o bien, si la contaminación se origina en y/o durante el almacenamiento de la misma.

En los mapas (figuras 4 y 5), se indican en color verde los sitios de muestreo y en color rojo los sitios en los que se encuentran ubicados los hornos.

A continuación se indican los aspectos que se tomaron en cuanto para la recolección y conservación de las muestras.

6.1.1.1 AGUA

Se ubicaron los sitios en donde se encontraban los recipientes para almacenar el agua. Posteriormente, se tomó una muestra representativa de 80 mL de agua, aproximadamente, tomando pequeños volúmenes de la misma en distintos puntos y, a diferentes profundidades del recipiente.

La muestra se depositó, para su conservación y posterior análisis, en un frasco de vidrio previamente tratado con una solución de ácido nítrico al 2% y perfectamente enjuagado con agua tridestilada.

FIGURA 5. MAPA DE LA COMUNIDAD DE LA MAGDALENA

Sitios de toma de muestras de suelo y agua (puntos verdes) y localización de hornos (puntos rojos).

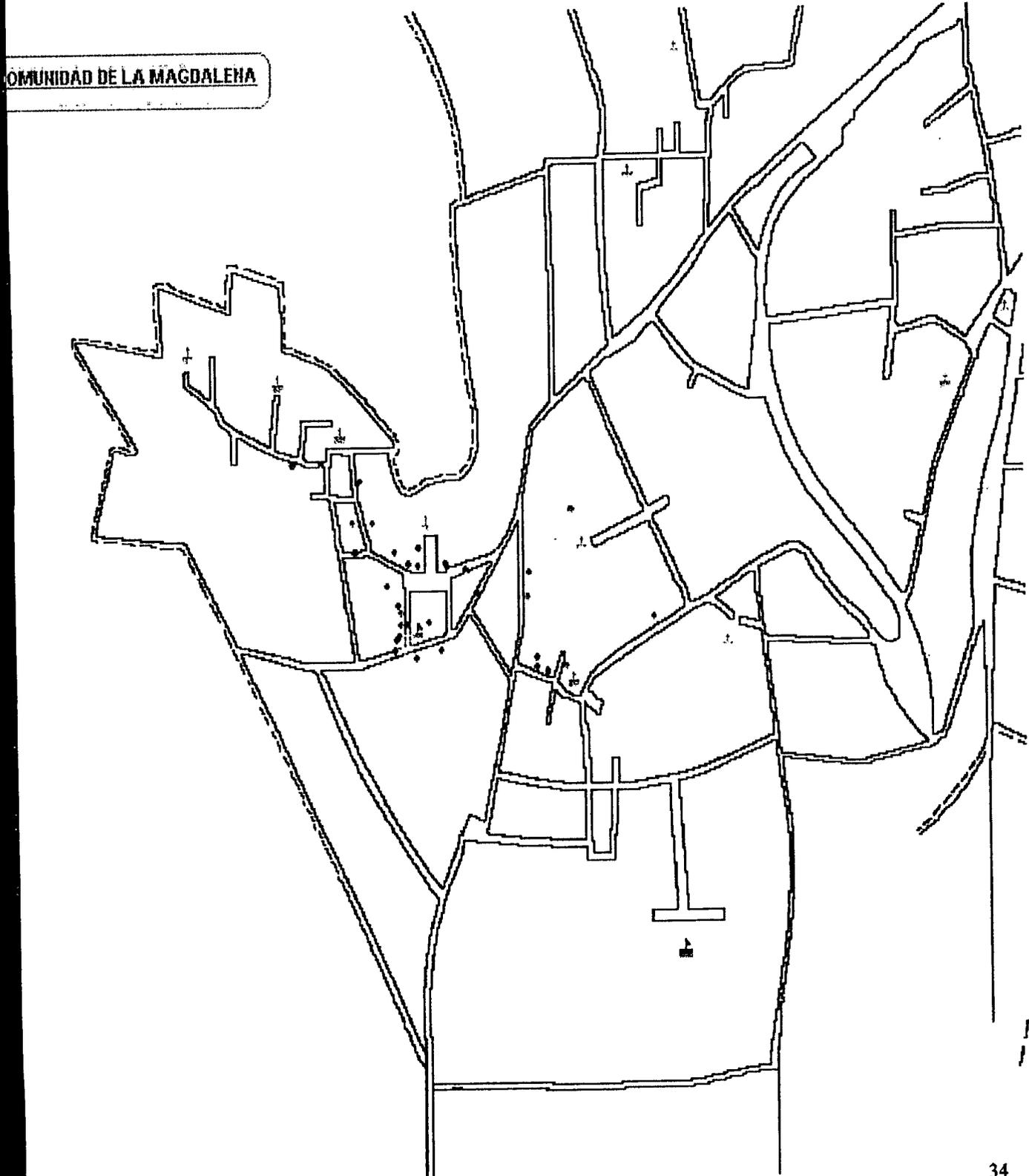
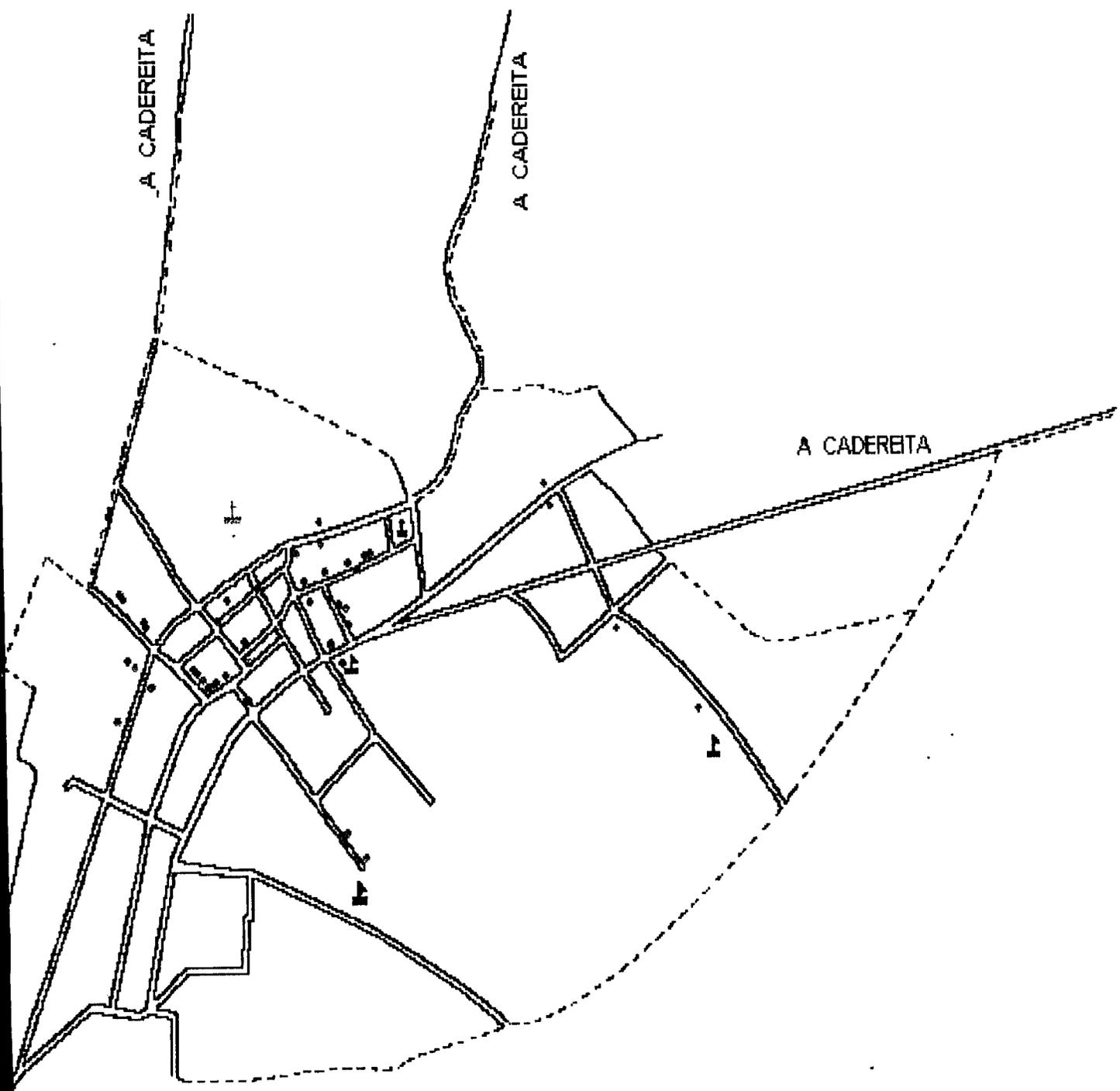


FIGURA 4. MAPA DE LA COMUNIDAD DE BOXASNI

Sitios de toma de muestras de agua y suelo (puntos verdes), los puntos rojos indican la localización de los homos en la comunidad de Boxasni, Cadereyta, Qro. i



6.1.1.2 SUELO

Para la toma de muestra de suelo, se consideró a los lugares críticos de la casa, como: los sitios donde regularmente juegan los niños y los lugares más próximos a las actividades del hogar, incluyendo, patios, pasillos y huertos familiares.

La muestra fue tomada de la superficie del suelo y en los huertos familiares se procedió a recolectar dos muestras; una de la superficie y otra a una profundidad de aproximadamente 15 cm.

La muestra de suelo se recolectó y conservó dentro de una bolsa de polietileno para su posterior análisis.

6.2 MATERIAL

Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer, modelo AAS-5100 PC, equipado con automuestreador AS-60 y sistema de inyección en flujo FIAS 200.

Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer, modelo 400.

Lámpara de cátodo hueco de plomo, Perkin-Elmer.

Parrilla o plato caliente.

Campana de extracción.

Balanza analítica.

Mezclador, Vortex.

Estufa a 110°C.

Refrigerador.

Matraces volumétricos de vidrio, Pyrex, de 10 mL.

Matraces volumétricos de vidrio, Pyrex, de 50 mL.

Vasos de precipitado de 250 mL.

Viales de vidrio de 15 mL.

Frascos de vidrio de 80 mL.

Probetas graduadas de 100 mL.

Micropipeta de volumen variable, Wilson, de 1 a 100 µL.

Micropipeta de volumen variable, Wilson, de 100 a 1000 µL.

Pipeta graduada de vidrio, Pyrex, de 10 mL.

Pipeta graduada de vidrio, Pyrex, de 5 mL.

Pipeta graduada de vidrio, Pyrex, de 1 mL.

Puntas amarillas desechables para micropipeta, Lakeside. Paq/1000.

Puntas azules desechables para micropipeta, Lakeside. Paq/1000.

Embudos de plástico.

Perilla de hule.

Bolsas de polietileno (200 g).

Tubos de polipropileno. Colstar. Paq/100.

Tubos de grafito pirolizados, Perkin-Elmer.

Mortero con pistilo.

Tamices.
Brocha de 1.5 pulgadas.
Papel filtro.
Papel parafilm.
Papel aluminio.

6.3 REACTIVOS

Acido nítrico concentrado.
Acido nítrico suprapuro concentrado.
Extrán
Pirofosfato de amonio.
Peróxido de hidrógeno al 30%.
Agua tridestilada.

6.4 SOLUCIONES

Solución de extrán al 10% (v/v).
Solución de ácido nítrico concentrado, al 2% (v/v).
Solución de pirofosfato de amonio (50 mg/100 mL).
Solución de ácido nítrico suprapuro, 50% (v/v).
Solución de agua:ácido nítrico:peróxido de hidrógeno (40:5:5).
Solución de ácido nítrico suprapuro, 3% (v/v).

6.5 PREPARACION Y ANALISIS DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO Y AGUA.

6.5.1 PREPARACION Y LAVADO DEL MATERIAL

Todo el material de vidrio a utilizarse en el análisis debe ser lavado de la manera siguiente:

- a) Sumergir el material de vidrio y polipropileno, perfectamente lavado, en una solución de extrán al 10% (v/v), durante un periodo de 24 horas.
- b) Enjuagar el material con agua destilada.

- c) Enjuagar perfectamente el material con una solución de ácido nítrico al 2% (v/v).
- d) Enjuagar el material con agua tridestilada.
- e) Escurrir el material y protegerlo del polvo, una vez seco.
- f) Enjuagar perfectamente el material con una solución de ácido nítrico al 50% (v/v) en el momento antes de utilizar el material.
- g) Escurrir y secar el material.

6.5.2 PREPARACION DE SOLUCIONES

6.5.2.1 SOLUCIONES PARA LAVADO DEL MATERIAL

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

*** Constituyentes**

Extrán

Agua Potable

*** Preparación**

Para 1000 mL de 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 DE ACIDO NITRICO AL 50% (v/v).

*** Constituyentes**

Acido nítrico suprapuro

Agua tridestilada

*** Preparación**

Para de 10 mL de solución

5 mL de ácido nítrico suprapuro

5 mL de agua tridestilada

Agregue los 5 mL de ácido nítrico a los 5 mL de agua tridestilada.

SOLUCION DE ACIDO NITRICO AL 20% (v/v).

* Constituyentes

Acido nítrico

Agua

* Preparación

Para de 100 mL de solución

20 mL de ácido nítrico

80 mL de agua

Agregue los 20 mL de ácido nítrico a los 80 mL de agua.

6.6 PREPARACION DE MUESTRAS

6.6.1 SUELO

SECADO DE MUESTRAS DE SUELO

La muestra bruta se redujo de tamaño, de partícula y de cantidad, por medio de molienda y divisiones sucesivas, por la mitad amontonándola en forma cónica y cuarteandola utilizando el método de cuarteo.

- 1.- En un vial, libre de plomo, se colocó la muestra de suelo por analizar.
- 2.- Se secó la muestra en una estufa a 110° C, durante 12 horas.
- 3.- Se retiró la muestra de la estufa y se colocó dentro de un desecador, cuidando no contaminarla con plomo.
- 4.- Se dejó enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- 5.- Una vez fría la muestra se procedió a su tratamiento y posterior análisis.

TRATAMIENTO

- 1.- Pesar 0.5 g de la muestra de suelo y colocarla en un matraz Erlen Meyer de 250 mL, previamente enjuagado con una solución de ácido nítrico suprapuro.
- 2.- Adicionar 5 mL de una solución de ácido nítrico suprapuro (1:1) en agua tridestilada.

- 3.- Mezclar perfectamente la muestra de suelo con la solución ácida.
- 4.- Calentar durante 5 minutos, evitando la ebullición y proyecciones groseras.
- 5.- Enfriar el matraz, a temperatura ambiente, y adicionarle 2.5 mL de ácido nítrico concentrado suprapuro.
- 6.- Calentar durante 2 horas evitando la ebullición y las proyecciones.
- 7.- Enfriar el matraz con la muestra y adicionarle 5 mL de peróxido de hidrógeno al 30%.
- 8.- Continuar el calentamiento hasta que no se observe efervescencia en la solución.
- 9.- Una vez fría la muestra se filtra a través de un papel filtro, recibiendo el filtrado en un matraz aforado de 50 mL.
- 10.- Enjuagar varias veces el matraz de la digestión ácida y verter la solución al mismo matraz enjuagando el contenido del papel filtro.
- 11.- Aforar el matraz con agua tridestilada.

6.6.2 AGUA

Las muestras de agua únicamente fueron acidificadas con ácido nítrico suprapuro al 3% (v/v) para su análisis.

TRATAMIENTO

- 1.- Medir en un tubo de plástico 970 μ L de la muestra de agua.
- 2.- Adicionar 30 μ L de ácido nítrico suprapuro.
- 3.- Homogeneizar mecánicamente durante 5 segundos.

6.7 ANALISIS DE MUESTRAS

Para la cuantificación de plomo en suelo y agua se procedió de diferente manera. En el caso de plomo en suelo se utiliza el Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Flama y para determinar la concentración de plomo en agua se realizó mediante Espectrofotometría de Absorción Electrotérmica.

6.7.1 ANALISIS DE SUELO

CURVA DE CALIBRACION

La curva de calibración se preparó a partir de una solución patrón de 1000 mg/mL de plomo de la cual se tomaron diferentes volúmenes para preparar 4 estándares con concentraciones de: 5, 15, 20 y 25 mg/mL respectivamente.

A continuación se indican los volúmenes de la solución patrón requeridos para obtener las concentraciones de los estándares.

ESTANDAR	VOL. DE SOL. PATRON	SOLUCION X	Pb (mg/mL)
1	250 μ L	aforar	5
2	750 μ L	aforar	15
3	1000 μ L	aforar	20
4	1250 μ L	aforar	25

Nota: La solución X es la solución de agua: ácido nítrico: peróxido de hidrógeno (40:5:5), con la que se aforaron los matraces de 10 mL.

6.7.2 ANALISIS DE AGUA

CURVA DE CALIBRACION

Se preparan 3 estándares a partir de una solución madre de plomo de 5 mg/mL proveniente, esta última, de una solución patrón de 1000 mg/mL.

La solución madre se preparó de la siguiente manera:

Se tomaron 50 μ L de la solución patrón de 1000 mg/mL y se depositaron en un matraz aforado de 10 mL y se aforó con agua tridestilada.

Para la preparación de los estándares se procedió de la siguiente manera:

ESTANDAR	VOL. DE SOL. MADRE	SOL. A	Pb (μ g/mL)
1	20 μ g/mL	aforar	10
2	40 μ g/mL	aforar	20
3	80 μ g/mL	aforar	40

NOTA: La solución A es una solución de ácido nítrico al 3% (v/v). Los matraces volumétricos se aforaron a 10 mL.

Las soluciones resultantes de la manipulación de las muestras de suelo se aspiraron, y se tomaron tres lecturas de cada una; después de haber obtenido la curva de calibración y cuyo coeficiente de correlación sea mayor de 0.9900

De las muestras de agua se tomaron 10 μL que se inyectaron en el horno de grafito acoplado al Espectrofotómetro de Absorción Atómica. De cada muestra se hicieron 3 inyecciones respectivamente.

Las muestras deben ser leídas una vez que se haya efectuado la curva de calibración y ésta sea aceptable, con coeficiente de correlación mayor de 0.9900.

6.8 PARAMETROS INSTRUMENTALES UTILIZADOS EN EL ESPECTROFOTOMETRO DE FLAMA.

Los parámetros instrumentales utilizados para Absorción Atómica son:

- Longitud de onda : 283.3 nm
- Abertura espectral (slit) : 0.7 nm
- Flama : Aire-Acetileno
- Corrector Deuter (ON)
- Quemador: 10 cm.

6.8.1 TIPO DE FLAMA UTILIZADA

- Comburente (oxidante): Aire
- Combustible: Acetileno
- Temperatura °C: 2125-2400
- Velocidad del quemador: 160 cm^3/s .

6.9 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 µL
- Corrector de ruido de fondo (lámpara de Deuterio)
- Gas de purga: argón al 99.999 % de pureza

6.9.1 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 fue aumentada gradualmente.

PROGRAMA DE TEMPERATURAS PARA EL HORNO DE GRAFITO.

PROCESO	SECADO	CENIZAS	ATOMIZADO	LIMPIEZA
Temp (° C)	120	520	2500	2800
Ramp (s)	15	15	1	1
Hold (s)	25	20	2	3
Record			start	
Read			start	
Stop Flow			start	

7. RESULTADOS

A continuación se presenta una tabla con los resultados de la concentración de plomo en suelo de las comunidades antes mencionadas, en la cual se encuentra el número de muestra, el contenido de plomo y el sitio donde se tomó la muestra (donde "P" corresponde al patio de la casa y "C" a la calle).

TABLA 5. RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO DE LA MAGDALENA

NUMERO DE MUESTRA	CONCENTRACION DE PLOMO (mg/kg)	SITIO DE MUESTREO
01	75.31	P
02	431.11	P
03	433.45	P
04	56.59	P
19	82.34	P
20	178.31	P
21	37.86	P
22	33.18	P
23	592.62	C
24	197.03	P
25	253.21	P
26	122.77	P
27	65.95	d
28	309.39	C
29	103.40	C
30	49.57	C
31	112.77	P
32	70.63	P
33	75.31	P
36	75.31	P
37	225.12	P
38	47.23	P
39	112.47	P
47	140.86	P
48	215.76	P
49	290.66	P
50	1831	P

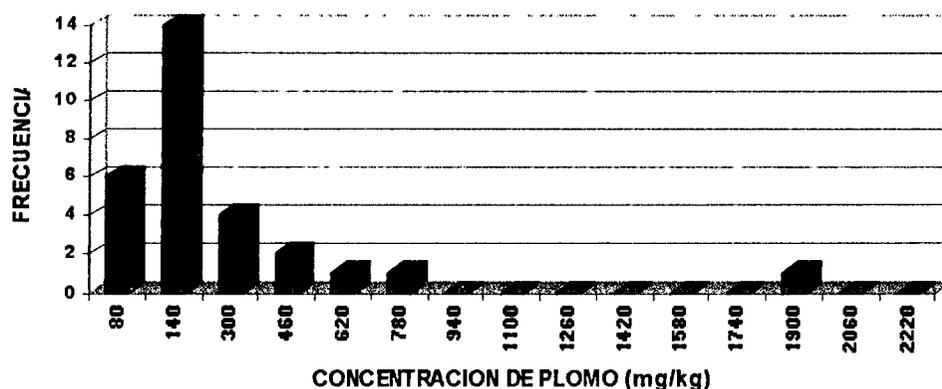
d = Esta muestra corresponde a un huerto familiar en el que se cultiva frijol, calabaza y maíz.

En los resultados obtenidos del contenido de plomo en suelo y agua, de las comunidades de Boxasní y La Magdalena en el municipio de Cadereyta, Querétaro, se

observa, en primer lugar, que las concentraciones de plomo en suelo son mayores a el límite establecido para ambientes no ocupacionales de 25 mg/kg, reportado en la bibliografía; teniéndose valores que van desde los 28.50 mg/kg hasta los 4064.38 mg/kg que corresponden a una muestra tomada de la periferia de un horno que se encuentra en el patio de una casa habitada. Sin embargo, los resultados obtenidos de las muestras de agua muestran un nivel de concentración muy bajo de plomo, encontrándose que el 100% de las muestras mostraron valores de concentración de plomo por debajo de límite máximo permisible de 0.025 mg/L, establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-ECOL/94); y además, a estas muestras se les determinó su correspondiente valor de pH con la finalidad de saber si el agua podría solubilizar al plomo puesto que éste es más soluble en condiciones ácidas que en las alcalinas.

En el histograma (figura 6), se muestra la distribución de frecuencias para las 29 muestras analizadas de la comunidad de La Magdalena.

FIGURA 6. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA EL CONTENIDO DE PLOMO EN SUELO DE LA MAGDALENA



Como se observa en la figura 6, la mayor frecuencia se encuentra entre 110 mg/kg y 170 mg/kg (con media de clase de 140 mg/kg). Cabe señalar que en esta distribución de frecuencias ninguna de las 29 muestras analizadas están por debajo del límite de 25 mg/kg establecido para ambientes no ocupacionales, encontrándose la mayoría entre 33.18 mg/kg y 290.66 mg/kg. El dato que se encuentra entre 1820 mg/kg y 1980 mg/kg corresponde a una muestra tomada de un lugar cercano a hornos de quemado de utensilios cerámicos vidriados con plomo, cuya concentración fue de 1831.29 mg/kg.

Los otros dos valores de altas concentraciones corresponden, en orden creciente, a una muestra de la calle y de una casa vecina a un horno que opera actualmente.

En la siguiente tabla (tabla 6), se muestran las concentraciones de plomo en suelo de la comunidad de Boxasní.

TABLA 6. RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO DE BOXASNI

NUMERO DE MUESTRA	CONCENTRACION DE PLOMO (mg/kg)	SITIO DE MUESTREO
05	75.31	C
06	65.95	P
07	56.59	a
08	103.40	P
09	103.40	P
10	75.31	P
11	1894.08	P
12	4064.38	b
13	857.13	P
14	178.31	P
15	140.86	C
16	30.84	e
17	103.40	P
18	606.67	c
40	122.13	P
41	49.57	P
42	112.77	P
43	75.31	P
44	75.31	P
45	28.50	P
46	75.31	P

a= Se trata de una muestra de barro con la que se elaboran los recipientes. Cabe mencionar que no se puede tomar como referencia para el contenido de plomo en suelo ya que éste se encontraba en el taller de alfarería, posiblemente contaminado con plomo.

b= Este valor corresponde a una muestra tomada de suelo en la periferia de un horno en el que se quemaban los recipientes de barro engretados.

c= Este valor muestra la concentración de plomo en el suelo tomado de una calle, de la cual se encuentran cerca dos hornos que queman recipientes vidriados.

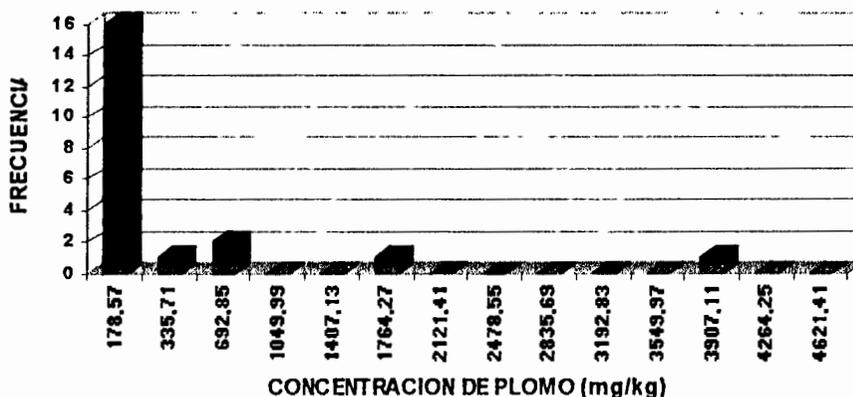
e = Muestra del patio de la escuela de Boxasní.

A partir de la tabla 6 se aprecia que la máxima concentración de plomo en suelo fue de 4064.38 mg/kg, la cual correspondió a una muestra recolectada en la periferia de un horno. Además, es importante notar que el total de las muestras rebasan los límites sugeridos de plomo en suelo para ambientes no ocupacionales, 25 mg/kg.

Además, se observa que en la comunidad de La Magdalena, en general, se encuentran las concentraciones de plomo en suelo más altas, aunque comprendidas en un rango menor, comparada con las concentraciones de suelo de Boxasní.

En el histograma de frecuencias (figura 7), se muestra el contenido de plomo de las 21 muestras de suelo analizadas de la comunidad de Boxasní.

FIGURA 7. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA EL CONTENIDO DE PLOMO EN SUELO DE BOXASNI

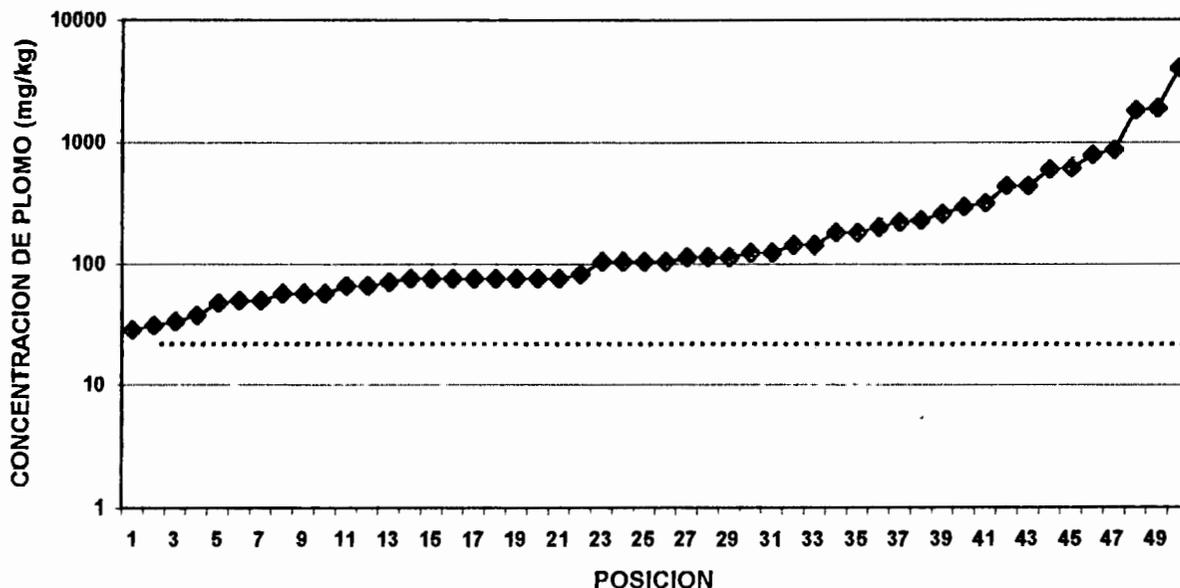


Se encontró que las concentraciones de plomo están comprendidas en un rango muy amplio que va desde los 28.50 mg/kg hasta los 4064.38 mg/kg correspondientes a una muestra de patio renovado (suelo de tepetate reciente), y a la periferia del suelo de un horno, respectivamente; además de que en el patio del sitio en el que se encuentra este horno, se tiene una concentración de plomo en el suelo de 857.13 mg/kg.

Es importante observar la relación que hay entre el contenido de plomo hallado en las casas donde no hay hornos en sus patios y en aquéllas en las que si los hay, así como los lugares que se encuentran cerca de los hornos, ya que existe una variabilidad muy marcada en las concentraciones de plomo en suelo observadas.

En la figura 8 se muestra el comportamiento de la concentración de plomo en suelos de las comunidades de La Magdalena y Boxasní.

FIGURA 8. COMPORTAMIENTO DEL CONTENIDO DE PLOMO EN SUELO DE LA MAGDALENA Y BOXASNI



Como se mencionó anteriormente, se aprecia que las muestras en su totalidad rebasan el límite máximo sugerido de 25 mg/kg. Por lo anterior, se puede decir que la concentración de plomo en suelo en ambas comunidades es considerablemente elevado.

En la tabla 7 se presentan las concentraciones de plomo en agua de la comunidad de Boxasni. Donde "L" significa que la muestra de agua se tomó directamente de la llave (de agua potable) y "D" se refiere al agua proveniente de los diferentes depósitos donde las personas almacenan el agua potable para su posterior uso.

TABLA 7. RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN AGUA DE BOXASNI

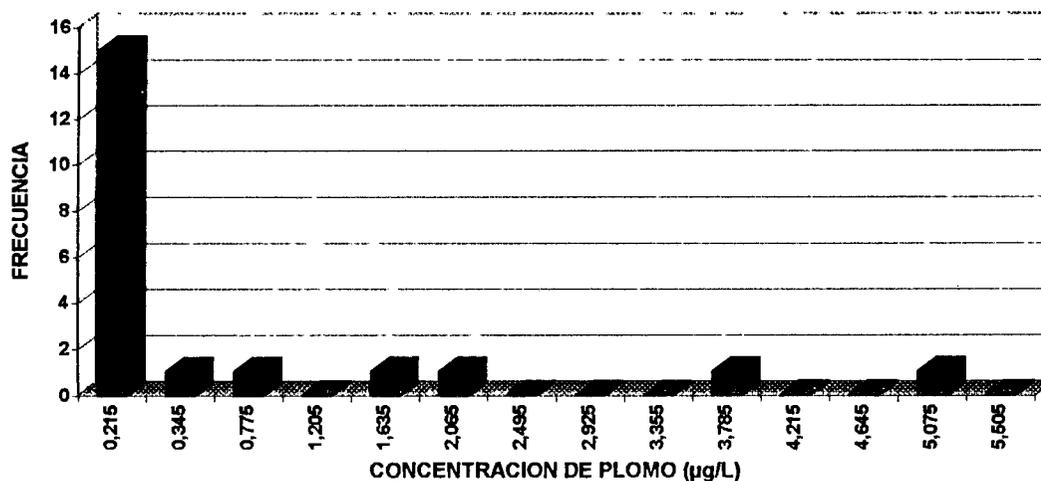
NUMERO DE MUESTRA	CONCENTRACION DE PLOMO (µg/L)	PH DE LA MUESTRA	TIPO DE AGUA
01	3.6227	8.42	L
02	0.9505	8.43	L
03	1.9402	8.46	L
04	1.7423	8.45	L
05	-	8.43	L
06	-	8.34	L

NUMERO DE MUESTRA	CONCENTRACION DE PLOMO ($\mu\text{g/L}$)	pH DE LA MUESTRA	TIPO DE AGUA
07	0.2578	8.40	D
08	-	8.39	D
09	-	8.37	L
10	-	8.42	L
13	-	8.49	L
23	-	8.47	D
24	-	8.41	L
27	5.2061	8.49	D
34	-	8.46	D
40	-	7.67	L
41	-	8.30	D
42	-	8.00	D
46	-	7.01	L
51	-	7.32	D
52	-	7.00	D

-= no detectable.

En la figura 9, se muestra la distribución de frecuencias de la concentración de plomo en las distintas muestras de agua procedentes de la comunidad de La Magdalena.

FIGURA 9. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO EN AGUA DE BOXASNI



En la tabla 8, se indica la concentración de plomo en las muestras de agua recolectadas en la comunidad de La Magdalena.

TABLA 8. RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN AGUA DE LA MAGDALENA

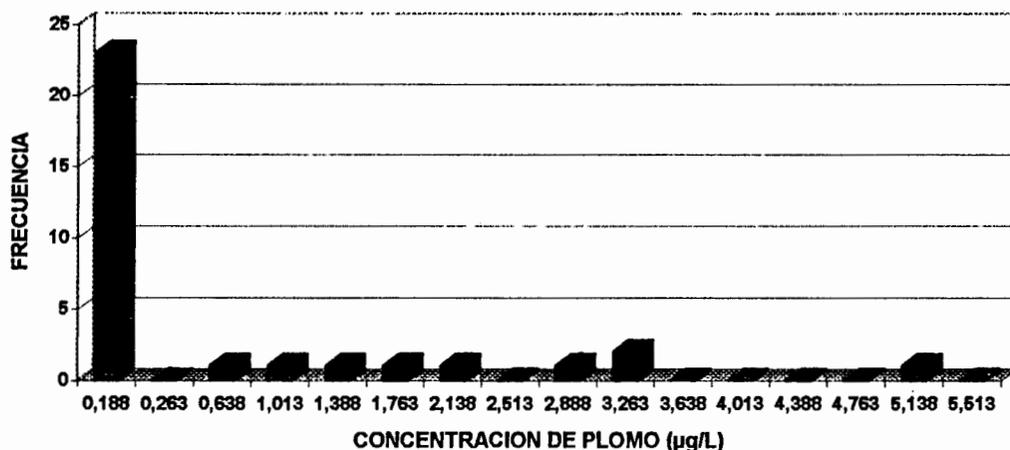
NUMERO DE MUESTRA	CONCENTRACION DE PLOMO ($\mu\text{g/L}$)	pH DE LA MUESTRA	TIPO DE AGUA
11	-	8.61	L
12	-	8.51	D
13	-	8.49	L
14	-	8.45	D
15	0.6537	8.14	D
16	-	8.23	L
17	-	8.13	D
18	-	8.44	D
19	-	8.29	D
20	1.6908	8.09	D
21	-	8.31	D
22	-	8.34	L
25	-	8.47	D
26	-	8.50	D
28	3.4247	8.50	L
29	2.8309	8.43	L
30	-	8.14	L
31	-	8.18	D
32	-	8.39	D
33	-	8.46	L
35	-	8.51	L
36	5.2061	7.43	D
37	1.2475	8.44	L
38	0.8516	7.29	D
39	-	6.97	D
43	-	6.93	D
44	2.0392	6.91	D
45	-	7.04	D
47	-	8.14	D
48	-	8.49	L
49	-	7.02	L
50	3.2268	8.50	D

-- no detectable.

En cuanto al contenido de plomo en muestras de agua procedentes de Boxasní (tabla 7) y de La Magdalena (tabla 8), se observa que en ninguno de los casos la concentración de plomo supera el valor límite sugerido por la Norma Oficial Mexicana (NOM127-SSA1-ECOL/94) de 25 $\mu\text{g/L}$; encontrándose que la mayoría de las muestras se encuentran entre 0 y 5.2061 $\mu\text{g/L}$, es decir, el 100% de las muestras se encuentran por debajo del límite antes mencionado.

En la figura 10, se muestra la distribución de frecuencias de la concentración de plomo en agua de La Magdalena.

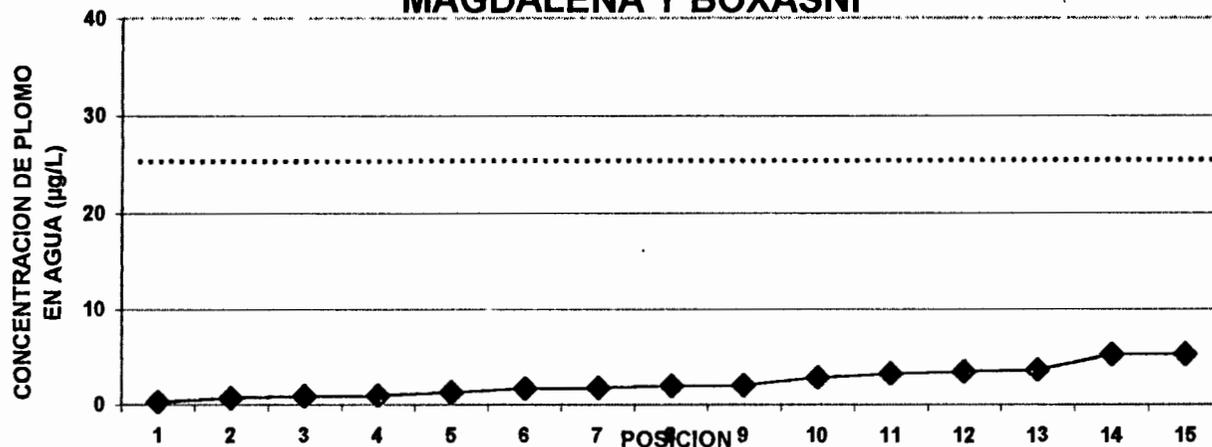
FIGURA 10. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DEL CONTENIDO DE PLOMO EN AGUA DE LA MAGDALENA



El histograma (figura 10) indica como la mayoría de las muestras contenían concentraciones de plomo entre 0 y 0.23 µg/L (media de clase de 0.19 µg/L); que corresponden, en su mayoría a niveles de concentración tan bajos que no fueron detectados por el equipo.

En la figura 11 se muestra el comportamiento general de la concentración de plomo en agua para las dos comunidades, La Magdalena y Boxasní.

FIGURA 9. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN AGUA DE LA MAGDALENA Y BOXASNI



En esta gráfica (figura 11), se observa que el total de las muestras se encuentran por debajo del límite permisible en agua potable de 0.025 mg/L (OMS, 1984).

Como se puede apreciar, ningunas de las muestras a las que se les detectó plomo, rebasan el límite máximo permisible. De lo cual se infiere que el agua no representa una fuente importante de exposición a plomo.

En la tabla 9 se muestra la comparación de desviaciones estándar de las concentraciones de plomo de las muestras suelo de las comunidades de La Magdalena (LM) y Boxasní (B). De donde se observa una diferencia significativa en el contenido de plomo en suelo de La Magdalena con respecto al de Boxasní.

TABLA 9. COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO EN SUELO

GRUPOS LM/B	TAMAÑO DE MUESTRA	DESVIACION ESTANDAR	$F_{\alpha=0.05}$ (CALCULADA)	$F_{\alpha=0.05}$ (TABLA)	COMPARACION	DESICION
LM	29	124904	7.0429	1.96	7.0429 > 1.96	SON DIFERENTES
B	21	879682				

La tabla 10 hace referencia a la comparación de desviaciones estándar de la concentración de plomo en las muestras de agua de las comunidades de La Magdalena y Boxasni; en la cual no se observa diferencia y, por lo tanto, no existe evidencia estadística de que las concentraciones de plomo en agua sean distintas dependiendo de la comunidad de procedencia.

TABLA 10. COMPARACION DE DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO EN AGUA

GRUPOS LM/B	TAMAÑO DE MUESTRA	DESVIACION ESTANDAR	$F_{\alpha=0.05}$ (CALCULADA)	$F_{\alpha=0.05}$ (TABLA)	COMPARACION	DESICION
LM	9	2.15	1.5442	3.69	1.5442 < 3.69	NO SON DIFERENTES
B	6	3.32				

La desviación estándar de la comunidad de La Magdalena, en concentración de plomo en suelo, con respecto a Boxasní, es estadísticamente diferente, es decir hay una mayor exposición al plomo en La Magdalena; comportamiento que difiere para el caso del contenido de plomo en agua (donde no existe diferencia significativa).

En las tablas 11 y 12 se muestran los resultados de la comparación de medias en suelo y agua de las comunidades de La Magdalena y Boxasní, en las cuales no se

observan diferencias significativas en cuanto al contenido de plomo en suelo y agua de dichas comunidades.

TABLA 11. COMPARACION DE MEDIAS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN SUELO

GRUPOS LM/B	TAMAÑO DE MUESTRA	MEDIA	$t_{\alpha=0.05}$ (CALCULADA)	$t_{\alpha=0.05}$ (TABLA)	COMPARACION	DESICION
LM B	9 6	243.24 423.55	0.9493	1.645	0.9493<1.645	NO SON DIFERENTES

TABLA 12. COMPARACION DE MEDIAS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN AGUA

GRUPOS LM/B	TAMAÑO DE MUESTRA	MEDIA	$t_{\alpha=0.05}$ (CALCULADA)	$t_{\alpha=0.05}$ (TABLA)	COMPARACION	DESICION
LM B	9 6	2.35 2.29	0.07060	1.771	0.07060<1.771	NO SON DIFERENTES

En cuanto a las comparaciones de medias la concentración de plomo en suelo y agua de las comunidades de Boxasni y La Magdalena, estas no muestran diferencias significativas estadísticamente, en cuanto al contenido de plomo.

En la tabla 13 se presenta un resumen de los parámetros estadísticos evaluados a partir de los resultados de las concentraciones de plomo en suelo y agua de las comunidades de Boxasni y La Magdalena.

TABLA 13. PARAMETROS ESTADISTICOS EVALUADOS

PARAMETRO	SUELO BOXASNI	SUELO LA MAGDALENA	AGUA BOXASNI	AGUA LA MAGDALENA
TAMAÑO DE MUESTRA	21	29	21 ^a 6 ^b	32 ^a 9 ^b
MEDIA	423.55	243.24	2.29	2.35
MEDIANA	103.40	112.77	1.84	2.04
MODA	75.31	75.31	0.95	1.69
MINIMO	28.50	33.18	0.26	0.65
MAXIMO	4064.38	1831.29	5.21	5.21

PARAMETRO	SUELO BOXASNI	SUELO LA MAGDALENA	AGUA BOXASNI	AGUA LA MAGDALENA
RANGO	4035.88	1798.11	4.95	4.55
DESV. ESTANDAR	937.91	353.42	1.82	1.47
COEF. DE VARIACION	221.44	145.30	79.75	72.30

a= Corresponde al tamaño de la muestra.

b= Corresponde al número de muestras a las cuales la concentración de plomo fue detectable.

8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de las 50 muestras de suelo, tomadas de las comunidades de La Magdalena y Boxasní, 29 correspondieron a la comunidad de La Magdalena y 21 a la comunidad de Boxasní.

Las concentraciones de plomo de la comunidad de La Magdalena señalan una mayor concentración de plomo en suelo de hogares en los que se encuentran los hornos y en zonas cercanas a éstos, mostrando en la totalidad de las muestras de esta comunidad concentraciones mayores al valor límite establecido para ambientes no ocupacionales, 25 mg/kg. Para esta comunidad es importante mencionar que se observan las concentraciones más altas de plomo en suelo, en comparación con la comunidad de Boxasní, con un valor promedio de 243.24 mg/kg y donde la mayoría de las muestras (48.27%) se encuentran con concentraciones de plomo entre 60 y 220 mg/kg. Además, comparando con los resultados obtenidos, de plomo en sangre, de un estudio titulado "DETERMINACION DE PLOMO EN SANGRE DE POBLACIONES RELACIONADAS CON LA FABRICACION DE ALFARERIA" realizado en esta misma comunidad, se encontraron mayores concentraciones de plomo en sangre en sus habitantes respecto a la comunidad de Boxasní.

En cuanto a las muestras de Boxasní se puede mencionar que la mayoría de las 21 muestras analizadas (28.57%), se encuentran entre 0 y 157.15 mg/kg y solo una muestra que corresponde a la periferia de un horno, que aún opera, contiene 4064.38 mg/kg y la otra inmediata inferior corresponde al patio de la misma casa en la que se encuentra el horno en la que se determinó un valor de 1894.08 mg/kg.

De las observaciones anteriores se puede concluir que en las dos comunidades hay altas concentraciones de plomo en suelo, siendo mayores éstas en la comunidad de La Magdalena que en Boxasní, lo que representa una fuente importante de plomo para el ambiente y con ello para la población general.

De las concentraciones de plomo en agua del total de 53 muestras, a las cuales también se les determinó el pH; se encontró que fueron relativamente bajas, puesto que ninguna de las muestras rebasó el valor límite de 0.025 µg/L, establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-ECOL/94), para agua potable. El valor máximo detectado fue de 5.2061 µg/L, tanto para las muestras procedentes de la toma de agua (llave) y de la que estas personas almacenan provisionalmente en piletas, tambos y cántaros.

La mayoría de las muestras, un 71.69%, se encuentran entre 0 y 0.13 µg/L y solo el resto, un 28.30% presentó concentraciones mayores que 0.13µg/L pero inferiores al valor límite de 25 µg/L. Por lo tanto, se puede decir que el agua no es -en este caso- una fuente importante de plomo para la población.

9. APENDICE

9.1 ABREVIATURAS

AAL-U	Acido delta-aminolevulínico en orina
Aprox.	Aproximadamente
°C	Grados centígrados
CP-U	Coproporfirina en orina
Delta-ALA	Acido delta-aminolevulínico
EPA	Environmental Protection Agency
F	Frecuencia
FDA	Food and Drugs Administration
g	Gramo
kg	Kilogramo
L	Litro
LTB	Límite de Tolerancia Biológica
m	Metro
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
µg	Microgramo
µL	Microlitro
n	Tamaño de muestra
ng	Nanogramo
OMS	Organización Mundial de la Salud
Pb-S	Plomo en sangre
Pb-U	Plomo en orina
pH	Potencial de hidrógeno
Qro.	Querétaro
Sol.	Solución
STEL	Valor Límite de Exposición Corta
TLV	Valor Umbral Límite
TWA	Valor Ponderado de Tiempo
uma	Unidad de masa atómica
URSS	Unión de Repúblicas Soviéticas Socialistas

9.2 FORMULARIO

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = media aritmética

$\sum x_i$ = suma de todas las mediciones

n = número de datos

Mediana. Corresponde al número cuya posición sea: $(n+1)/2$, o bien, el promedio aritmético de los números centrales.

Moda. Corresponde al valor que ocurre con mayor frecuencia.

R = A = valor máximo - valor mínimo

Donde:

R = rango

A = amplitud

$$s = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]^{1/2}$$

Donde:

s = desviación estándar

$$CV = s / \bar{x}$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

Donde:

$$s_1^2 > s_2^2$$

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) s}{\left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2}}$$

Donde:

t tiene $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad.

9.3 TABLA

Puntos Porcentuales de la Distribución de F

9.4 TABLA
Valores Críticos de t

10. BIBLIOGRAFIA

- 1) Cassarett J.L., Doull J.; The Central Nervous System, Toxic Agents, Applications of Toxicology, Metals. In: Toxicology The Basic Science of Poisons. Ed. Macmillan, 18, USA, 1975. pp. 161, 258, 328, 716, 454-463, 478, 479.
- 2) Corey O., G., Galvao L., A.C.: Serie vigilancia (8) PLOMO. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. Metepec, Edo. de México, 1986.
- 3) Davis, A., Ruby, M. V., Bergstrom, P. D.: Bioavailability of Arsenic and Lead in Soils from the Butte, Montana, Mining District. Environmental Science Technology, Vol. 26, No. 3; 1992.
- 4) Davis, A., Drexler, J. W., Ruby, M. V., Nicholson, A.: Micromineralogy of Mine in Relation to Lead Bioavailability, Butte, Montana. Environmental Science Technology, Vol. 27, No. 7; 1993.
- 5) Diario Oficial de la Federación, Primera Sección. Jueves 18 de Enero de 1996.
- 6) Goodman, G.A., Goodman, L.S., Rall, T.W., Murad, F.: Los Metales Pesados y sus Antagonistas. Goodman y Gilman. Las Bases Farmacológicas de la Terapéutica. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina. pp. 1520-1525, 1988.
- 7) Gobeil, C., Johnson, W.K., Macdonald, R. W., Wong, C. S.; Sources and Burden of Lead in St. Lawrence Estuary Sediments: Isotopic Evidence. Environmental Science & Technology. Vol. 29, No. 1; 1995
- 8) Graigmill A., González de M., E., San Elías A. J. C., Pedraza A. G.; Contribución del Vidriado de la Cerámica en la Ingesta Diaria de Plomo. Asociación Mexicana de Química Analítica; IX Congreso Nacional de Química Analítica, Mérida Yucatán, 1994.
- 9) Howson, Ch. P., Hernández A., M., Rall, D.P.; El Plomo en América. Estrategias para la Prevención. El Instituto Nacional de Salud Pública de México y La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos. Cuernavaca, Morelos, México, 1996.
- 10) Hunt, A., Johnson, D. L., Watt, J. M., Thorton, I.: Characterizing the Sources of Particulate Lead in House Dust by Automated Scanning Electron Microscopy. Environmental Science Technology, Vol. 26, No. 8; 1992.
- 11) Jaffé, P. R.: Eavy Metal Pollution in the Rhine Basi. Environmental Science Technology, Vol. 27, No. 5; 1993.
- 12) Kobylinski, E. A., Hunter, G. L., Quinlan, E. A.: Implementing the New Water Quality Standards-Fitting the Puzzle Together. Environmental Progress, Vol. 12, No. 3; 1993.

- 13) Krishnamurthy, s.: Extraction and Recovery of Lead Species from Soil. Environmental Progress; Vol. 11, No. 4; 1992.
- 14) Link, T. E., Ruby, M. V., Nicholson, A. D.; Soil Lead Mineralogy by Microprobe: An Interlaboratory Comparison. Environmental Science Technology, Vol. 28, No. 5; 1994.
- 15) Manahan S.E.; Toxic Elements. In: Toxicological Chemistry. Ed. Lewis publishers, 1992, 10, Second Edition, 257-259.
- 16) Mckinney, J., Rogers, R.; Metal Bioavailability. Environmental Science Technology, Vol. 26, No. 7; 1992.
- 17) Moncada A., M.C.; Determinación de Plomo en Sangre en Poblaciones Relacionadas con la Fabricación de Alfarería. Querétaro, Qro.: Universidad Autónoma de Querétaro; 1996. 88 p. Tesis que para Obtener el Título de Químico Farmacéutico Biólogo.
- 18) Runells, D. D., Shepherd, T. A., Angino, E. E.:Metals in Water. Environmental Science Technology, Vol. 26, No. 12; 1992.
- 19) Secretaría de Salud, Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Diario Oficial. Jueves 18 de enero de 1996, pp. 41-46.
- 20) OPS. Plomo. Publicado bajo patrocinio conjunto del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de la Salud. Publicación científica 388. Criterios de Salud Ambiental 3. Washington, D. C., 1979.
- 21) Orpinel B., F.; Cuantificación de Plomo Extraíble de Recipientes Artesanales de Alfarería Usados para el Almacenamiento y Preparación de Alimentos. Querétaro, Qro.: Universidad Autónoma de Querétaro; 1993. 49 p. Tesis que para Obtener el Título de Químico Metalúrgico.
- 22) Peters, R. W., Shem, L.: Adsorption/Desorption Characteristics of Lead on Various Types of Soil. Environmental Progress, Vol. 11, No. 3; 1992.
- 23) Reilly C.; The Individual Metals. In: Metal Contamination of Food. Ed. Elsevier Applied Science Publishers, 1991, 5, Part II.
- 24) Saborio K., Alvarado de A.L., Bravo de M., Sadie.; Contenido de Plomo y Cadmio en Aguas de un Sector del Acueducto. Proceedings Interamerican Conference on Environmental Issues; 1ª Conferencia Interamericana Sobre El Medio Ambiente, San Salvador, El Salvador; Mayo 2-4, 1994.

25) Shibamoto T., Bjeldanes L.F.; Heavy Metals. In: Introduction to Food Toxicology. Ed. Academic Press, 1993, pp. 126-132.

26) Taylor, R. M., Kuennen, R. W.: Removing Lead in Drinking Water with Activated Carbon. Environmental Progress. Vol. 13, No. 1; 1994.

27) Toxicological Profile For Lead, U.S. Department of Health and Human Services; Ppublic Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, April 1993.

28) Valle V.,P. Contaminantes: Plomo. En: Toxicología de Alimentos. CPEHS, OPS, OMS. Segunda Edición, Metepec, Edo. de México, 1991, pp. 93-95.

29) Vega G., S. Evaluación Epidemiológica de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales. En: Toxicología III; Aspectos Específicos de la Toxicología de Algunos Contaminantes. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 1995.