

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE PLOMO EN SALES DE
CONSUMO HUMANO COMERCIALIZADAS EN ALGUNOS PUNTOS
DE VENTA DE LA CAPITAL DE GUATEMALA POR COLORIMETRIA
Y ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA**

Presentado por

ROSA EUGENIA PINETTA MAGARIN

Estudiante de la Carrera de

Químico

Guatemala, junio de 1999



JUNTA DIRECTIVA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

DECANA LICDA. HADA MARIETA ALVARADO BETETA

SECRETARIO LIC. OSCAR FEDERICO NAVE HERRERA

VOCAL I DR. OSCAR MANUEL COBAR PINTO

VOCAL II DR. RUBEN DARIEL VELASQUEZ MIRANDA

VOCAL III LIC. RODRIGO HERRERA SAN JOSE

VOCAL IV BR. DAVID ESTUARDO DELGADO GONZALEZ

VOCAL V BR. ESTUARDO SOLORZANO LEMUS



DEDICATORIA

-A Dios Todo Poderoso.

-A Mi Madre: Ana María Magarín Rosales.

-A Mi Hermana: Cinthya Carolina Pinetta Magarín

-A mis Abuelitos: José Mario Magarín (+)
Alicia Rosales de Magarín (+)

-A Mi Esposo: Carlos Antonio Chacón Zarazúa

-A Mis Hijos: Javier Antonio
Ana Laura

-A mis amigos y compañeros durante mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad de San Carlos de Guatemala
- A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
- A la Unidad de Análisis Instrumental de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC; por facilitar las instalaciones, equipo y reactivos necesarios para la realización de la parte práctica de esta tesis.
- A la Licenciada Aura Elizabeth Padilla Arreaga por su valiosa orientación y su asesoría en el presente trabajo.

INDICE

| CONTENIDO | PAGINA |
|---|--------|
| 1. RESUMEN | 1 |
| 2. INTRODUCCION | 2-3 |
| 3. ANTECEDENTES | 4-8 |
| 3.1 Estudios Anteriores Sobre Contaminación Por Plomo | 5-6 |
| 3.2. Normas de Contenido de Plomo en Alimentos | 6-8 |
| 4. JUSTIFICACION | 9 |
| 5. OBJETIVOS | 10 |
| 5.1 General | 10 |
| 5.2 Específicos | 10 |
| 6. HIPOTESIS | 11 |
| 7. MATERIALES Y METODOS | 12-22 |
| 7.1 Universo y Muestra | 12 |
| 7.2 Recursos Humanos | 12 |
| 7.3 Recursos | 12 |
| 7.4 Materiales | 12-13 |
| 7.5 Métodos | 14-21 |
| 7.6 Recursos Económicos e Institucionales | 22 |
| 8. RESULTADOS | 23-30 |
| 9. DISCUSION DE RESULTADOS | 31-33 |
| 10. CONCLUSIONES | 34 |
| 11. RECOMENDACIONES | 35 |
| 12. REFERENCIAS | 36-39 |
| 13. ANEXOS | 40-73 |
| 13.1 Sal | 40-49 |
| 13.2 Plomo | 50-63 |
| 13.3 Espectrofotometría por Absorción Atómica | 64-66 |
| 13.4 Cuadros y Gráficas | 67-72 |

1. RESUMEN

El plomo por su toxicidad es considerado como "contaminante prioritario" y muchas entidades nacionales e internacionales han montado programas de monitoreo de este metal en aire, agua y alimentos. Tomando en consideración lo anterior y el alto consumo diario de sal por la población guatemalteca, este trabajo de tesis se efectuó con el objetivo principal de evaluar los niveles de plomo en las marcas de sal de mayor consumo en la ciudad capital, así como la comparación de dos métodos de análisis: Absorción atómica propuesto por AOAC y el método colorimétrico utilizado para determinar plomo en otros productos.

Para el estudio de los niveles de plomo presentes en marcas de sal producidas en el país, se muestrearon algunos mercados y supermercados de todas las zonas de la capital divididas en seis áreas, ciento veintidos muestras de sal común y refinada.

El análisis de plomo en las muestras tanto por absorción atómica como por colorimetría, dió resultados que demuestran claramente que la mayoría de ellas sobrepasan el límite permitido por la FAO/WHO en su CODEX Alimentarius el cual es de 2 partes por millón. Después del análisis estadístico se pudo comprobar que del 100% de muestras de sal analizadas, solamente un 8.59% está dentro de los niveles de plomo permitidos. Es de hacer notar que dentro de este porcentaje se encuentran las sales refinadas. Por lo anterior se concluye que en general la sal que consume la población guatemalteca está contaminada con plomo.

Para evaluar la reproducibilidad de ambos métodos de análisis se utilizó una prueba t de student para diferencias pareadas y una prueba de Kappa interclase encontrándose que los dos métodos son comparables, debido a que entre las técnicas existe un acuerdo del 93.9%.

2. INTRODUCCION

La sal ha sido probablemente siempre necesaria directa o indirectamente en todas las etapas de la evolución de los organismos vivientes. Su uso se remonta a tiempo inmemorial e indudablemente su fabricación fue motivada por el descubrimiento de su valor como sazonador de alimentos.

Guatemala es un productor de sal por la gran longitud de costa del Océano Pacífico así como también por los yacimientos de sal gema de Huehuetenango.(1,2)

Siendo la sal un condimento alimenticio que por su producción está tan expuesto al ambiente así como el contacto con equipo y maquinaria durante su obtención, es evidente que existe una gran posibilidad de que el producto final esté contaminado con varios de los metales más dañinos para la salud.

Los metales son componentes integrales del ambiente y de la materia viva, algunos juegan papeles básicos en los organismos vivos, otros ejercen una influencia biológica y sólo se conocen sus efectos dañinos. Estos metales no son creados ni destruidos por el hombre y por lo general aparecen como contaminantes del ambiente debido a desechos industriales, domésticos, etc. en suelo, aire, agua y alimentos.

El uso diario y frecuente de sal, tanto por niños como por adultos, es un factor que aumenta la probabilidad de que este producto aporte cantidades significativas de plomo en la ingesta diaria individual. Este es de suma importancia ya que podría ocasionar un aumento en los niveles tisulares de este metal en el organismo y de esta manera afectar su funcionamiento, especialmente en niños, mujeres lactantes y embarazadas.(3)

La intoxicación por plomo es comúnmente conocida como saturnismo y ocurre debido a que el metal es lentamente absorbido y más lentamente excretado. Este metal puede penetrar al cuerpo por inhalación, ingestión o por la piel, pero las sales de plomo no pueden atravesar esta última por lo que las dos rutas más frecuentes son la gastrointestinal y la respiratoria.(3,4,5)

El saturnismo como tal, puede lesionar patológicamente al hígado, riñones, gónadas masculinas, células del sistema nervioso, células sanguíneas y otros tejidos.(3,4,5)

En la actualidad en Guatemala no se lleva a cabo ningún control para determinar los niveles de contenido de plomo en la sal de consumo humano producida en el país, por lo que toda la población está expuesta a dicha contaminación, si la hubiera.

Con base en lo anteriormente descrito, esta investigación tiene como objeto la cuantificación de plomo en la sal comercializada y de mayor consumo en la capital de Guatemala y la comparación de los métodos de espectrofotometría de absorción atómica y colorimetría que se utilizaron para el análisis, ya que estas técnicas han sido validadas y ampliamente utilizadas por LUCAM y AOAC en la rápida, fácil y exacta cuantificación de plomo en otros alimentos, mostrando una alta sensibilidad y confiabilidad en los resultados.

3. ANTECEDENTES

Entre los minerales presentes en alimentos para consumo humano se encuentran los metales denominados micronutrientes, que tienen requerimientos diarios muy bajos expresados en microgramos (μg). Entre éstos se encuentran el zinc (Zn), el hierro (Fe), el cobalto (Co), el manganeso (Mn), el molibdeno (Mo) y el cromo (Cr). (6,7)

Existe otro grupo de metales que también se encuentra en los alimentos, a los cuales no se les ha determinado un papel fisiológico útil, se conocen por sus efectos tóxicos aun en pequeñas concentraciones. Estos metales son los más insidiosos por su naturaleza no biodegradable. En este grupo de metales se encuentra el mercurio (Hg), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb), los cuales han estado sujetos a numerosas regulaciones y recomendaciones en una tentativa de excluirlos, lo más posible, de alimentos y bebidas, ya que además se cree que éstos son carcinógenos. (6,8,9)

Entre los contaminantes potenciales se encuentra, como ya fue mencionado, el plomo que es uno de los metales que ha estado sujeto a más investigaciones que cualquier otro contaminante de los alimentos debido a su abundancia, amplia distribución y toxicidad. (3)

El plomo es considerado como uno de los contaminantes más peligrosos en los alimentos. Por su naturaleza este metal puede provocar desde un cólico hasta una encefalitis. Hay evidencia de que aún a muy bajos niveles el plomo puede originar desórdenes en el comportamiento humano como irritabilidad, intranquilidad y agresividad especialmente en los niños (6,10)

Este metal tiene además una gran tendencia a acumularse en el cuerpo humano de manera que la ingestión baja de plomo por largos períodos de tiempo puede eventualmente causar intoxicación. (3)

En la actualidad existe una gran cantidad de sustancias que pueden ocasionar envenenamientos siendo el plomo uno de los tóxicos más comunes. Este metal se emplea en formas de diferentes compuestos. El riesgo mayor estriba en que el plomo no solo amenaza a las personas que tienen contacto directo con él, sino también, en forma accidental a los usuarios de artículos que lo contengan.(5)

3.1 ESTUDIOS ANTERIORES SOBRE CONTAMINACION POR PLOMO:

Con mucha antigüedad y profundidad han sido múltiples los estudios realizados sobre los riesgos toxicológicos del plomo. La mayoría de estas investigaciones han tratado sobre la variabilidad de las concentraciones de plomo en sangre y orina en niños o en adultos y bajo circunstancias ordinarias o bien anormales.(4)

Se sabe que el aumento de sustancias contaminantes en el ambiente es el resultado de las diversas actividades humanas. (3)

En la actualidad muchas entidades internacionales como la WHO, MARC, GEMS, FAO, ICAITI y nacionales como LUCAM ** han prestado suma importancia a lo niveles de plomo, cadmio y mercurio debido a la alta incidencia en la contaminación ambiental, ocupacional e industrial que poseen. En términos de salud humana se les ha prestado mucho interés en la legislación y monitoreo en aire, agua y alimentos que son sin lugar a dudas las fuentes de intoxicación crónica de mayor riesgo para los seres vivos en general.(11,12,13)

**WHO: World Health Organization.. MARC: Monotoring and Assessment Research Center
 GEMS: Gloval Environmental Monotoring System. FAO: Food and Agriculture Organization
 ICAITI: Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial.
 LUCAM: Laboratorio Unificado de Control de Alimentos y Medicamentos.

En Guatemala, desde hace varios años, se han estado realizando investigaciones sobre la presencia de estos tres metales en los alimentos. Se ha encontrado que el mercurio y el cadmio están presentes en productos alimenticios en cantidades que no presentan un peligro inminente, pero en el caso del plomo la contaminación es mayor.(3) Sin embargo no se le ha prestado mucha atención al peligro que encierran ciertos productos de consumo diario como lo es la sal, fuente potencial de plomo que puede sumarse a la gran cadena de contaminación e intoxicación humana por metales.

3.2 NORMAS DE CONTENIDO DE PLOMO EN ALIMENTOS:

En muchos países existen normas específicas con respecto a la sal y sus diferentes fines (sal de mesa, de cocina, etc.) para el consumo humano. En la mayoría de entidades internacionales y normas de cada país el contenido máximo permitido oscila entre 2 y 5 mg/Kg de producto como lo indica el siguiente cuadro, pero no se especifica ningún método analítico para la cuantificación del plomo.

| Nivel Máximo Permitido en mg/Kg | Entidad |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 2 | Codex Alimentarios 1989 FAO/WHO |
| 2 | OPS |
| 5 | ICAITI |

El análisis de metales tales como el plomo se ha venido realizando por medio de una gran variedad de metodología analítica, mismas que varían con el tipo de muestra, cantidad de muestra, sensibilidad y límites de detección deseados y las facilidades para el desarrollo del análisis.(14,15,16,17,18,19,20,21)

Actualmente el método más adecuado para la cuantificación de pequeñas cantidades de plomo y en general de cualquier metal, es la Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama y horno de grafito.(18,21)

En Guatemala funciona la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) adscrita al Ministerio de Economía cuyo objetivo primordial es fijar normas en general. En 1972 bajo el patrocinio de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) se emitieron las normas centroamericanas para el contenido de plomo en alimentos y bebidas basadas en las normas existentes en Canadá y Estados Unidos de Norte América.(22)

Actualmente COGUANOR está adoptando nuevas normas sobre el contenido de plomo en alimentos y bebidas reemplazando en forma paulatina a las emitidas en el año 1966 y 1972.

Hasta septiembre de 1998 COGUANOR todavía tiene en proceso la publicación de la norma que regule y especifique los niveles de plomo exclusivamente para sal producida y consumida por la población guatemalteca.

Debido a que la sal no es el único alimento que carece de regulación con respecto al plomo, COGUANOR tiene previsto, para casos como éste y algunos otros extraordinarios, usar como guía los límites recomendados por la comisión del Codex Alimentarius, FAO/WHO.

Desde 1973 la Comisión del Codex Alimentarius forma parte de un programa conjunto FAO y WHO para emitir las normas sobre alimentos en general, con el propósito de proteger la salud de los consumidores y de asegurar las correctas prácticas de manufactura en la elaboración de los alimentos.(23,24)

La FAO/WHO ha establecido que una ingestión tolerable semanal provisional de plomo para adultos es de 0.05mg/Kg de peso corporal. Para niños no ha sido posible determinar este valor.(14)



Se entiende por ingestión tolerable semanal provisional de plomo la cantidad de este metal que puede ser ingerida semanalmente por un hombre durante toda su vida sin causarle daño aparente.(25)

No ha sido posible determinar la cantidad de plomo para una ingestión diaria admisible (IDA) debido a que los niveles de este metal son muy variables en los alimentos, aire y agua.(25)

Hasta el momento en Guatemala no se ha reportado la realización de una investigación sobre la contaminación por metales tóxicos en sales comercializadas por el mercado nacional aunque la Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala esporádicamente ha realizado y reportado algunos análisis del contenido de plomo en sal. Los resultados han sido alarmantes ya que exceden a los límites establecidos por las entidades internacionales antes mencionadas. (ver cuadro No.4 pag.72 de Anexos.)

4. JUSTIFICACION

Guatemala es un país productor de sal (según ANSAL* se producen 750,000 a 775,000 quintales al año). Como todo proceso a gran escala, su calidad, debe asegurarse con pruebas a nivel de laboratorio, principalmente si este producto es para consumo humano. Como en Guatemala hay poca vigilancia en la aplicación de los controles gubernamentales con relación a la protección de la población expuesta al consumo de alimentos contaminados se hace evidente que dichas pruebas no se realizan.

Como en Guatemala no se han realizado estudios específicos sobre metales pesados como contaminantes en la sal producida en el país y la U.A.I. (Unidad de Análisis Instrumental), de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala ha realizado análisis esporádicos de plomo en sal y ha comprobado que el plomo se encuentra en cantidades por encima de los límites permisibles para la salud y siendo la sal un producto de amplio consumo en la población guatemalteca, se hace necesario un trabajo de referencia en donde se reúnan datos indicadores del nivel de concentración de plomo en sal, para un control de calidad que constituya garantía para el consumidor, industrias alimenticias y otras que emplean la sal como producto de consumo o materia prima para sus productos.

* ANSAL : Asociación Nacional de Salineros de Guatemala

5. OBJETIVOS

5.1 GENERAL:

Determinar si los valores de plomo contenidos en sales comercializadas en algunos puntos de venta de la capital de Guatemala se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas I.C.A.I.T.I. y F.A.O/W.H.O.

5.2 ESPECIFICOS:

1. Muestrear diferentes marcas de sal para consumo humano comercializadas en algunos puntos de venta de la capital de Guatemala y analizarlas por los dos métodos siguientes: a) absorción atómica
b) colorimetría.
2. Determinar la precisión, exactitud y límites de detección de plomo en sal de los métodos propuestos para la cuantificación.
3. Determinar cuál de los dos métodos propuestos para efectuar el análisis de plomo en sal presenta mayores ventajas en cuanto a costo y tiempo.

6. HIPOTESIS

El contenido de plomo que presenta la sal producida en Guatemala y que consume la población de la capital, no se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por las normas I.C.A.I.T.I. número 34025 y F.A.O./W.H.O. Codex 150-1985.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 Universo y Muestra:

Este se encuentra constituido por muestras de sal de consumo humano comercializadas en la capital guatemalteca recolectadas en los mercados, abarroterías, tiendas y supermercados locales.

7.2. Recursos Humanos:

- Autor de Tesis : Rosa Eugenia Pinetta Magarín
- Asesor de Tesis : Licda. Aura Elizabeth Padilla Arreaga

7.3. Recursos:

- Instalaciones de la Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- CEDOF Centro de Documentación de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Biblioteca del Instituto de Centro America de Investigación y Tecnología Industrial.
- COGUANOR.

7.4 Materiales:

7.4.1 Cristalería:

- Probetas de 100 ml y 200 ml.
- Pipetas volumétricas de 1, 2, 5, 10 ml.
- Embudos de filtración pequeños.
- Ampollas de decantación de 100 ml.
- Balones aforados de 50, 100, 1000 ml.
- Beakers de 50, 100, 250 ml.
- Cápsulas de aluminio.
- Agitadores de vidrio.

Vidrios de reloj.

- Frascos de plástico de 150 ml.
- Pizetas para agua destilada.
- Papel pH escala 0-14.
- Papel filtro Whatman No. 1.

7.4.2. Material y Equipo Instrumental:

- Agitadores magnéticos.
- Estufas con agitador Thermolyne Nuova II.
- Desecadora.
- Lámpara U.V.
- Horno VWR. 1300U
- Balanza analítica AND FR-200 MKII.
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian AA-175.
- Lámpara de Pb Varian.
- Espectrofotómetro UV/VIS. Perkin-Elmer Lambda 3.
- Campana LABCONCO.

7.4.3 Reactivos:

- Agua destilada.
- Cloruro de sodio grado analítico.
- Hidróxido de hidracinio grado analítico.
- Acido clorhídrico 1 N.
- Carbonato ácido de potasio grado analítico.
- Cianuro de potasio grado analítico.
- Hidróxido de amonio grado analítico.
- Ditizona grado analítico.
- Cloroformo grado analítico.
- Nitrato de plomo (II) grado analítico.
- Acido Nítrico concentrado grado analítico.
- Acido sulfúrico concentrado grado analítico.
- EDTA grado analítico.
- EXTRAN

7.5. METODOS

7.5.1. Estadística.

7.5.1.1. Procedimiento de Muestreo:

El plan de muestreo se desarrolló de tal manera que los lugares y la cantidad de muestras recolectadas para los análisis son representativos para el análisis estadístico. Los lugares de recolección se seleccionaron al azar utilizando un método aleatorio estratificado para las marcas.

7.5.1.2. Cálculo del Número de Muestras:

$$n = \frac{NC^2 \delta}{E^2}$$

NC = Nivel de Confianza
 δ = Varianza de la respuesta *
 E = Límite de error en la Estimación

$$n = \frac{(1.96)^2 (119.52)}{(2)^2} = 115$$

* De acuerdo a un estudio piloto de 5 muestras realizado en la Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.(U.A.I.)(ver cuadro No.4 pág. 72 de Anexos)

7.5.1.3. Análisis Estadístico:

- Estimación de la concentración de plomo en ppm de la sal comercializada en la ciudad capital de Guatemala por medio de un IC*=95% (en base al método de referencia).
- Se estimó en proporciones (%) cuantas muestras y de que procedencia cumplen o no el límite establecido (estadística descriptiva y gráficas).
- Comparación de métodos:
 - a) Prueba t de Student para diferencias pareadas
 - b) Análisis de Correlación Lineal.
 - c) Medir el grado de acuerdo entre los métodos
 - Prueba de Kappa interclase.
 - Sensibilidad y especificidad relativa de ambos métodos.

7.5.2 Plan de Muestreo:

En base a las zonas que constituyen la capital guatemalteca , éstas se dividieron por grupos como se detalla a continuación:

| | | |
|----------------|----------------|----------------|
| <u>Grupo A</u> | <u>Grupo B</u> | <u>Grupo C</u> |
| 1, 2, 3 | 4, 5, 9 | 6, 17, 18 |
| <u>Grupo D</u> | <u>Grupo E</u> | <u>Grupo F</u> |
| 7, 8, 11, 19 | 10, 14, 15, 16 | 12, 13, 21 |

* Indice de Confianza = IC

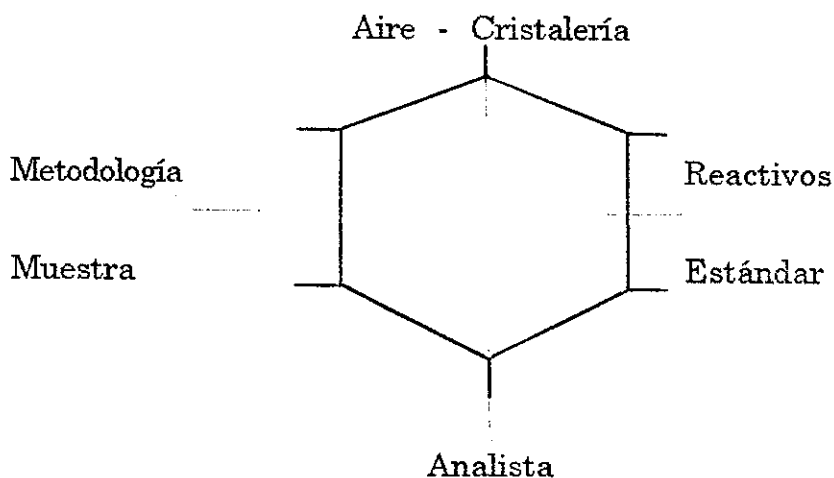
Para el estudio se recolectaron 126 muestras de sal, de 25 diferentes marcas, directamente de tiendas, supermercados y mercados de cada grupo de las 20 zonas de la ciudad capital, las cuales se unificaron por marca de la siguiente forma: se unieron las muestras de sal de la misma marca que provenieran de la misma zona para hacer una sola muestra

Tomando en cuenta el valor de los reactivos para el método colorimétrico fueron seleccionadas aleatoriamente 25 muestras de las mismas que se utilizaron en absorción atómica para que los resultados fueran estadísticamente representativos

7.5.3. Procedimiento del Análisis:

Para el análisis de residuos de plomo fue necesario evitar las interferencias de este metal proveniente del aire de laboratorio, de los muebles, de la cristalería y de los reactivos que pudieran alterar los resultados.

Se debió tener en cuenta que el contenido de plomo se encuentra a nivel de trazas ($\mu\text{g/Kg}$), por lo que la contaminación representa uno de los mayores problemas para este tipo de análisis. Los aspectos que se controlaron en este caso se esquematizan a continuación:



Los análisis de elementos trazas, como el plomo, sufren tres formas de contaminación:

- Positiva: Partículas del ambiente, liberación de plomo en cristalería, método de muestreo.
- Negativa: Adsorción o Volatilización.
- Intermedia: Método de análisis.

7.5.3.1. Limpieza de Cristalería:

Las interferencias provenientes de la cristalería son causa de grandes problemas en los análisis de metales trazas, por lo tanto este aspecto debió ser controlado lavando cuidadosamente la misma.

El procedimiento de lavado de cristalería para este tipo de análisis fue el siguiente:

- Se remojó la cristalería durante algunos minutos en agua caliente con jabón EXTRAN *
- Se eliminó los residuos cepillando la cristalería con agua fría con jabón EXTRAN.
- Se enjuagó varias veces con agua potable.
- Se enjuagó dos veces con agua destilada.
- Se dejó en solución de EDTA al 0.1% durante 24 hrs.
- Se lavó con agua desionizada de 6 - 8 veces.

*Extran : Jabón alcalino exento de fosfatos.

-Se secó en horno a 130°C.

-Se cubrió la cristalería y se guardó.

7.5.3.2. Preparación de la Muestra:

Los resultados del contenido de plomo en las sales fueron reportados en base húmeda ya que de esta manera es como es utilizada por el consumidor final.

7.5.3.3. Método Colorimétrico para la Determinación Cuantitativa de Plomo por Fotometría con Ditizona a Pequeñas Concentraciones:

Este método es adecuado para la determinación de iones plomo en concentraciones de 0.001 a 0.1 mg. de Pb^{+2} en valor absoluto o 0.02-2.0 mg de Pb^{+2} /L.

7.5.3.4. Interferencias y Tratamiento Previo:

Los iones bismuto, indio y talio interfirieron en la determinación. Los otros cationes se enmascararon con cianuro de potasio; interfirieron solamente en concentraciones superiores a 100 mg/l.

Los iones fosfato no interfirieron en concentraciones hasta 100 mg/l.

Los compuestos de plomo difícilmente solubles, como el sulfato de plomo y el fosfato de plomo, se disolvieron añadiendo tartrato sódico-potásico.

En presencia de sulfuros se evaporó la muestra de agua a sequedad con algunas gotas de ácido nítrico, se humedeció nuevamente con ácido nítrico y se evaporó a sequedad. El residuo se disolvió calentando en 50 ml. de agua desionizada y 2 ml de la solución de tartrato sódico-potásico.

Las interferencias de sustancias oxidantes y de iones de hierro (III) (no interfieren hasta 20 mg/l) se eliminaron añadiendo solución de cloruro de hidracinio. Los compuestos orgánicos de plomo y otras sustancias orgánicas (consumo de permanganato potásico por encima de 25 mg/l) se destruyeron evaporando con ácido sulfúrico y unas gotas de ácido nítrico.

7.5.3.5. Técnica:

Paso 1: se disolvieron 20 gramos de la muestra de sal en 50 ml. de agua, se agitó por 5 minutos y luego en un balón se aforó a 100 ml.

Paso 2: se tomaron 50 ml de solución y se acidificaron con ácido clorhídrico min. 25% y se hirvió por 5 minutos para eliminar el anhídrido carbónico.

Paso 3: se neutralizó con amoníaco y seguidamente se pasó enteramente a un embudo de decantación.

Paso 4: se añadieron 5 ml. de solución I y 5 ml. de solución II y 25 ml. de solución de ditizona.

Paso 5: se agitó por 5 minutos y se pasó la fase clorofórmica depositada a través de un papel filtro seco a un frasco ambar con tapón esmerilado.

Paso 6: se realizó la medición a 515 nm. frente a una muestra en blanco tratada de igual manera, hecha del mismo volumen de agua desionizada en lugar de solución salina.

NOTA: la curva de referencia se estableció mediante soluciones patrón de nitrato de plomo (de 0,1,4 y 6 ppm) que fueron tratadas de la misma manera que las muestras de sal.

7.5.3.6. Preparación de los Reactivos

7.5.3.6.1. Solución I

Se disolvieron 20g de cloruro sódico cristalizado para análisis y 10 ml de hidróxido de hidracinio aproximadamente 24% en N_2H_5OH con 70 ml. de HCl 1N en agua destilada y se completó a 100 ml.

7.5.3.6.2. Solución II

Se disolvieron 20g bicarbonato potásico para análisis, 5g de cianuro potásico para análisis en 20 ml. de solución de amoníaco mínimo 25% (0.91g/ml) para análisis y algo de agua destilada. La solución se completó con agua destilada a un volumen de 100 ml.

7.5.3.6.3. Solución de Ditizona

Se disolvieron 15 mg de ditizona (1,5 - difeniltiocarbazona) para análisis en 1000 ml de cloroformo para análisis y se conservó en frasco pardo.

Antes de utilizarla, la solución de ditizona se comprobó por fotometría. La absorbancia de la solución (diluída con cloroformo para análisis a partes iguales) fué de 0.81 en fotómetro o 1.0 en el espectrofotometro a 605 nm.

7.5.3.6.4. Solución Patrón de Plomo

Se disolvió 1.599 g de nitrato de plomo (II) para análisis (pulverizado y secado a $100^\circ C$) en agua destilada, después se añadió 1 ml de ácido nítrico mínimo 65% (Aproximadamente 1.40g/ml) que fué examinado con ditizona para análisis 1 ml = 1 mg de Pb y por último se llevo a volumen en un balón aforado de 1000 ml.

7.5.3.6.5. Solución de Tartrato sódico-potásico

Se disolvieron 20 g de tartrato sódico-potásico para análisis en 80 ml de agua destilada.

7.5.3.7. Cálculo:

De la cantidad de muestra utilizada y de la cantidad de plomo absoluta determinada a partir de la curva de calibrado, se calcula el contenido de iones plomo de la muestra en mg. de Pb / l.

$$1 \text{ mmval de iones plomo} = 103.6 \text{ mg de Pb}^{+2} \text{ (peso atómico/2)}$$

$$1 \text{ mg de Pb}^{+2} = 1.077 \text{ mg de PbO}$$

7.5.4 Método por Absorción Atómica para la Determinación Cuantitativa de Plomo.

Se pesaron 25 g de la muestra de sal y se sometieron a la mufla a 525°C por 4 horas. Se recogieron con 2 ml de ácido nítrico concentrado en un balón de 25 ml y se aforó con agua destilada.

Se prepararon estandar de plomo para una curva de calibración: agregando a 10 ml de agua destilada la cantidad de plomo necesaria para lograr las partes por millón requeridas, luego se añadieron 2ml. de ácido nítrico y aforando a 25ml en un balón.

Estándar
0ppm
1ppm
4ppm
6ppm

Utilizando la lámpara de cátodo hueco para plomo se pasaron primero los standares y luego las muestras reportando los resultados en partes por millón (ppm=mg/Kg)

7.6. RECURSOS ECONOMICOS E INSTITUCIONALES

7.6.1. Recursos Humanos.

Autor de Tesis: Rosa Eugenia Pinetta Magarín

Asesor de Tesis: Licda. Aura Elizabeth Padilla Arreaga

7.6.2 Recursos Materiales.

Todo el equipo y reactivos utilizados para la elaboración de la investigación fueron proporcionados por la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Unidad de Análisis Instrumental.

| REACTIVOS | VALOR EN Q. |
|-----------------------|-----------------|
| Acido Nítrico | 157.50 |
| Nitrato de Plomo (II) | 344.10 |
| Cloroformo | 118.20 |
| Ditizona | 378.60 |
| EDTA | 255.90 |
| EXTRAN | 476.70 |
| TOTAL | 3,182.10 |

La lámpara de plomo para absorción atómica tiene un costo de Q1,242.00 y una vida media de 200 horas por lo que el costo del uso de la lámpara por hora es de Q 6.21. Para efectuar el análisis de las 126 muestras de sal se utilizará la lámpara media hora por lo que el costo del análisis en tiempo de vida de la lámpara es de Q 3.11.

8. RESULTADOS

CUADRO No.1

CONCENTRACION (mg/Kg) DE PLOMO EN SAL COMUN
Y REFINADA CONSUMIDAS POR LA POBLACION DE LA
CAPITAL GUATEMALTECA POR ABSORCION ATOMICA

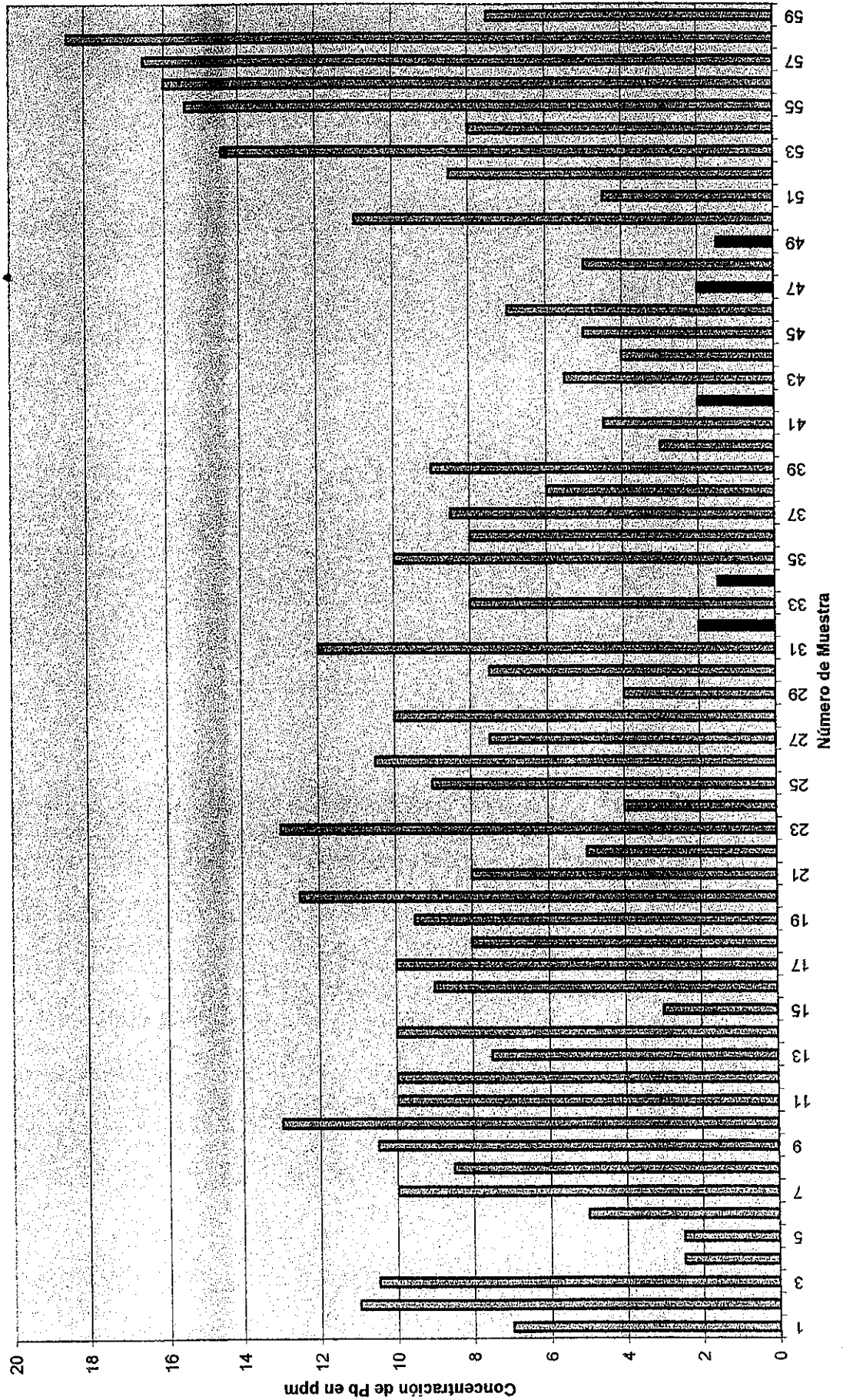
| No. Muestra | Zona | ppm | No. Muestra | Zona | ppm |
|-------------|-----------|-------|-------------|------------|-------|
| 1 | 1, 2, 3 | 7.00 | 31 | 4 | 11.99 |
| 2 | 2, 3 | 11.00 | 32 | 4, 5, 9 | 2.00 |
| 3 | 1, 2, 3 | 10.49 | 33 | 4, 9 | 7.99 |
| 4 | 2, 3 | 2.50 | 34 | 4, 5, 9 | 1.50 |
| 5 | 2, 3 | 2.50 | 35 | 4, 5, 9 | 9.98 |
| 6 | 1, 2 | 5.00 | 36 | 7, 8 | 7.99 |
| 7 | 2 | 9.98 | 37 | 7, 8, 19 | 8.49 |
| 8 | 1, 3 | 8.50 | 38 | 7, 8, 11 | 5.99 |
| 9 | 1, 2, 3 | 10.49 | 39 | 8, 11, 19 | 8.99 |
| 10 | 2, 3 | 12.99 | 40 | 7, 19 | 3.00 |
| 11 | 6, 17 | 9.98 | 41 | 11, 19 | 4.49 |
| 12 | 6 | 9.98 | 42 | 8, 11 | 2.00 |
| 13 | 6, 17, 18 | 7.49 | 43 | 11, 19 | 5.50 |
| 14 | 17, 18 | 9.98 | 44 | 7, 8, 11 | 4.00 |
| 15 | 6, 17, 18 | 3.00 | 45 | 10, 15, 16 | 5.00 |
| 16 | 6, 18 | 8.98 | 46 | 10, 15 | 6.99 |
| 17 | 17, 18 | 9.99 | 47 | 14, 15, 16 | 2.00 |
| 18 | 18 | 8.00 | 48 | 10, 14, 16 | 4.99 |
| 19 | 6, 18 | 9.50 | 49 | 10, 14 | 1.50 |
| 20 | 17, 18 | 12.49 | 50 | 14, 15 | 10.98 |
| 21 | 6, 1, 18 | 7.99 | 51 | 10, 15 | 4.49 |
| 22 | 18 | 4.99 | 52 | 14, 15 | 8.49 |
| 23 | 4, 9 | 12.99 | 53 | 12 | 14.48 |
| 24 | 4, 5 | 3.99 | 54 | 12, 21 | 8.00 |
| 25 | 5, 9 | 9.00 | 55 | 21 | 15.48 |
| 26 | 4, 9 | 10.50 | 56 | 13, 21 | 16.00 |
| 27 | 4, 5, 9 | 7.50 | 57 | 13 | 16.49 |
| 28 | 5 | 10.00 | 58 | 12 | 18.47 |
| 29 | 4, 9, 5 | 3.99 | 59 | 12, 13 | 7.49 |
| 30 | 4, 5 | 7.50 | | | |

Límite máximo permisible FAO/WHO 2ppm

Gráfica No. 1

Valores de Pb en Sal por absorción atómica

→ Concentración de Pb Inferior a 2 ppm (límite máximo permitido)



CUADRO No 2

CONCENTRACION (mg/Kg) DE PLOMO EN SAL COMUN
Y REFINADA CONSUMIDAS POR LA POBLACION DE LA
CAPITAL GUATEMALTECA POR COLORIMETRIA

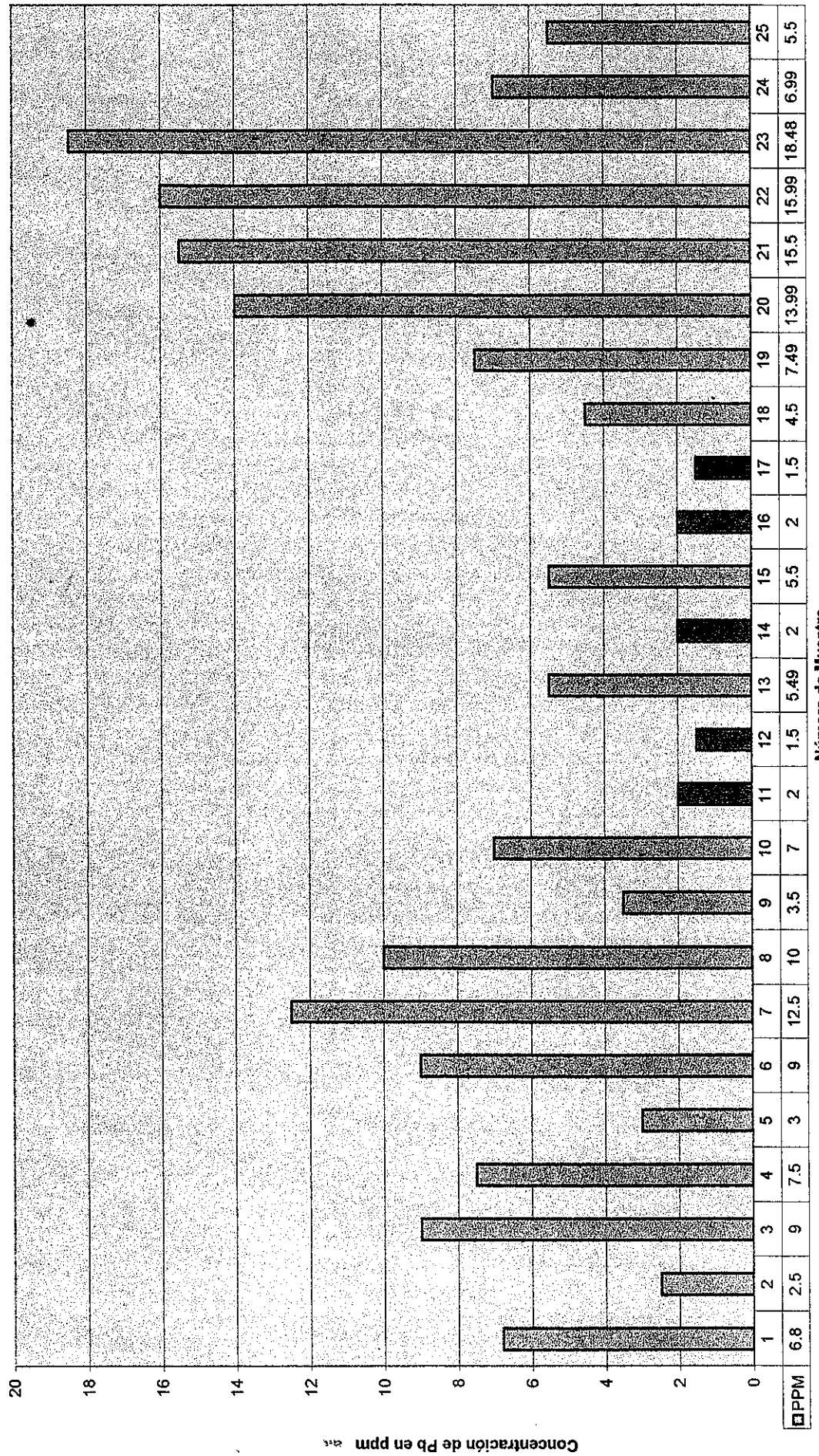
| No. Muestra | Zona | ppm | No. Muestra | Zona | ppm |
|-------------|-----------|-------|-------------|------------|-------|
| 1 | 1, 2, 3 | 6.80 | 42 | 8, 11 | 2.00 |
| 5 | 2, 3 | 2.50 | 43 | 11, 19 | 5.50 |
| 8 | 1, 3 | 9.00 | 47 | 14, 15, 16 | 2.00 |
| 13 | 6, 17, 18 | 7.50 | 49 | 10, 14 | 1.50 |
| 15 | 6, 17, 18 | 3.00 | 51 | 10, 14, 16 | 4.50 |
| 20 | 17, 18 | 12.50 | 53 | 12 | 13.99 |
| 19 | 6, 18 | 9.00 | 54 | 12, 21 | 7.49 |
| 25 | 5, 9 | 9.00 | 55 | 21 | 15.50 |
| 28 | 5 | 10.00 | 56 | 13, 21 | 15.99 |
| 29 | 4, 5, 9 | 3.5 | 58 | 12 | 18.48 |
| 30 | 4, 5 | 7.0 | 59 | 12, 13 | 6.99 |
| 32 | 4, 5, 9 | 2.00 | | | |
| 34 | 4, 5, 9 | 1.50 | | | |
| 38 | 7, 8, 11 | 5.49 | | | |

Límite máximo permisible FAO/WHO 2ppm

Gráfica No. 2

Valores de Pb en Sal por colorimetría

→ Concentración de Pb Inferior a 2 ppm (Límite máximo permitido)



Número de Muestra

Concentración de Pb en ppm

PPM

CUADRO No. 3

**CONCENTRACION (mg/kg) DE PLOMO EN SAL REFINADA
CONSUMIDAS POR LA POBLACION DE LA CAPITAL
GUATEMALTECA POR ABSORCION ATOMICA Y
COLORIMETRIA**

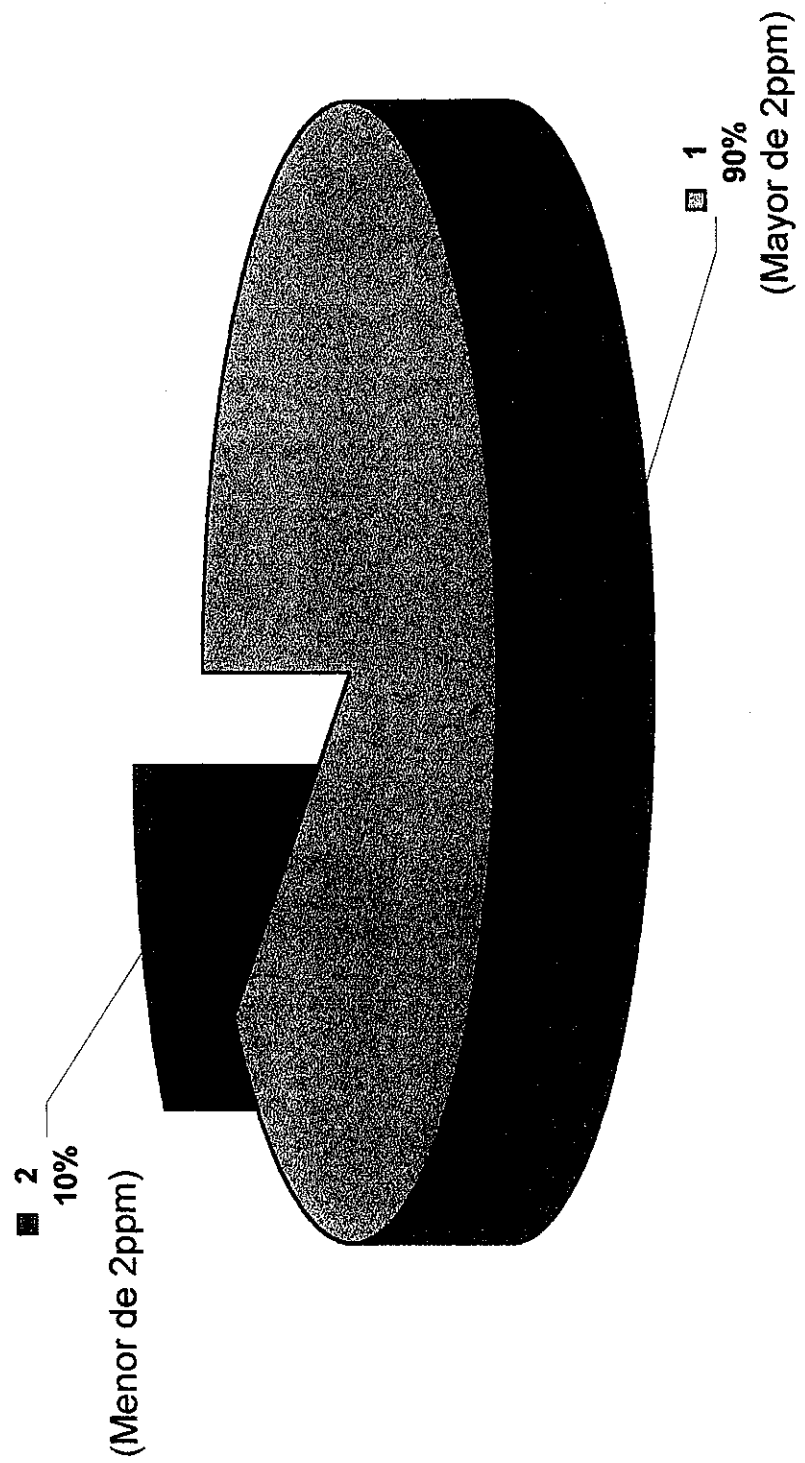
| No. de Muestra | Zona | ppm AA* | ppm C** |
|----------------|------------|---------|---------|
| 4 | 2, 3 | 2.5 | ---- |
| 5 | 2, 3 | 2.5 | 2.5 |
| 32 | 4, 5, 9 | 2.0 | 2.0 |
| 34 | 4, 5, 9 | 1.5 | 1.5 |
| 42 | 8, 11 | 2.0 | 2.0 |
| 47 | 14, 15, 16 | 2.0 | 2.0 |
| 49 | 10, 14 | 1.5 | 1.5 |

* AA = Absorción Atómica

** C = Colorimetría

Gráfica No. 3

PORCENTAJE DEL TOTAL DE MUESTRAS DE SAL QUE SE ENCUENTRAN
DENTRO DEL LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO POR EL CODEX
ALIMENTARIUS FAO / WHO 1995



CUADRONo.4

Porcentaje del Total de Muestras que se encuentran dentro del LMP por el
CODEX
Alimentarius FAO/WHO

| mg Pb / Kg Sal | No. Muestras | % |
|----------------|--------------|-------|
| Mayor de 2 ppm | 113 | 89.68 |
| Menor de 2 ppm | 13 | 10.32 |

Porcentaje del Total de Muestras de Sal Refinada que se encuentran
dentro del LMP por el CODEX Alimentarius FAO/WHO

| mg Pb / Kg Sal | No. Muestras | % |
|----------------|--------------|-------|
| Menor de 2ppm | 13 | 76.47 |
| Mayor de 2ppm | 4 | 23.53 |

Porcentaje del Total de Muestras de Sal Común no refinada que se encuentran
dentro del LMP por el CODEX Alimentarius FAO/WHO

| mg Pb / Kg Sal | No. Muestras | % |
|----------------|--------------|--------|
| Mayor de 2 ppm | 109 | 100.00 |
| Menor de 2 ppm | 0 | 0.00 |

9. Discusión de Resultados

El presente trabajo de investigación reúne los resultados obtenidos en la determinación del contenido de plomo presente en la sal que se produce en Guatemala y es consumida por la población de la ciudad capital.

Se estudiaron 25 marcas de sal común y refinada comercializadas en el país, recolectadas en mercados, tiendas y supermercados de las diferentes zonas de la ciudad capital guatemalteca; a razón de 6 muestras por zona, totalizando 126 muestras; 109 de sal común y 17 de sal refinada por dos métodos alternos; Absorción Atómica y Colorimetría. Debido al alto costo de reactivos para el método colorimétrico se tomaron al azar 25 muestras de las 59 resultantes de la unificación por marcas de cada zona de la capital utilizadas para el método de absorción atómica, con el fin de que fueran estadísticamente representativas, pero al mismo tiempo redujera el costo de los análisis.

En el cuadro No.1 de la página 24 se muestran los resultados obtenidos por absorción atómica en *ppm* (partes por millón) y en la gráfica No.1 página 25 es evidente que la mayoría de las muestras exceden el valor de la concentración de plomo permitida por entidades internacionales como la FAO/WHO en el *codex alimentarius* (15-1985). En la página 26 cuadro No.2 y en la página 27 gráfica No. 2 se puede observar que los resultados obtenidos al analizar las muestras de sal por colorimetría sobrepasan los límites máximos permitidos en su mayoría. La gráfica No.3 página 28 muestra claramente en porcentajes que las muestras en su mayoría se exceden de la concentración máxima permitida que es de 2 *ppm* ya que solamente el 10.32% de las muestras tiene una concentración menor a 2 *ppm*.

Al analizar estadísticamente los resultados obtenidos después de someter las muestras tanto a colorimetría como a absorción atómica es notoria la coincidencia entre los datos obtenidos por ambas vías.(página 68). Es necesario resaltar que la sal común concuerda con la hipótesis mientras que la sal refinada no lo hace ya que solamente del 23.53% sobrepasa el límite máximo de plomo permitido por las entidades internacionales.

Al realizar una comparación de los datos que se obtuvieron en los análisis realizados por colorimetría y absorción atómica a las muestras de sal refinada se pudo determinar que ambos métodos coinciden en los resultados obtenidos lo cual se puede observar en la página 28 con el cuadro No. 3. Al finalizar los análisis se determinó que la sal común posee mayores niveles de plomo, ya que presenta un promedio de 8.82 *ppm*. de Pb., mientras que la sal refinada promedia 2.00 *ppm* de Pb.; esto se debe al mecanismo que se utiliza para obtener esta última sal. Después de investigar en el mercado se logró determinar que de las dos únicas marcas nacionales de sal refinada existentes y muestreadas, una de ellas es únicamente empacada en Guatemala ya que el producto es importado de México y expendido por un distribuidor local autorizado; mientras que la otra marca no puede ser considerada como sal refinada sino como sal molida por su proceso de obtención; el método utilizado por esta marca es el

método de pozo el cual consiste en realizar una perforación profunda en la arena de la playa realizando allí una operación de entubado, el cual lleva a la superficie, por medio de una bomba hidráulica, el agua de mar que se utilizará; y luego en un lugar apropiadamente edificado para ello se obtiene sal cruda o gruesa por medio de la evaporación del agua, luego la sal cruda se somete a un proceso de molienda y después se lava, centrifuga y seca a una temperatura aproximada a los 150° C. Del mezclador pasa al dosificador para agregarle las sales de yodo y flúor que las normas indican y luego se empaqueta el producto en diferentes presentaciones. Todo este proceso garantiza una menor contaminación al compararla con el proceso de obtención de la sal común o gruesa en Guatemala, ya que las salineras del Pacífico solamente toman agua de mar de las orillas de éste y la colocan en fosas poco profundas en donde el agua es evaporada por el sol, luego la sal gruesa obtenida es vendida a granel a distribuidores o a intermediarios en la capital que adicionan el flúor y el yodo y por último la empaquetan sin siquiera evaporar el agua en su totalidad. Todo lo anterior hace poco confiable el producto por su obtención de aguas poco profundas expuestas a diversos contaminantes como barcos, lanchas, motores, redes de pescadores e instrumentos poco apropiados para su manipulación como palas, etc. si a esto se agrega que algunas de las salineras se encuentran cerca de la desembocadura de algún río, el cual como todos estos en Guatemala, es la vía de deshecho para la mayoría de fábricas e industrias que descartan sus residuos de todo tipo entre ellos algunos metales pesados como el Plomo, como lo hacen los ingenios que son de las mayores industrias del país, los cuales utilizan acetato de plomo para blanquear el azúcar que producen; al tomar en cuenta que existen diecisiete ingenios en el país y que el acetato de plomo posee una alta solubilidad en agua se hace posible pensar que durante el proceso de evaporación del agua en la producción de la sal este plomo se deposita con gran facilidad en la superficie de la misma, por lo que probablemente por estos y otros factores la sal gruesa o común posee sus niveles de contaminación con plomo más elevado.

Actualmente ASAZGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala) firmó un acuerdo con CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) en el cual se compromete a aplicar un tratamiento a sus aguas de deshecho para minimizar la contaminación de los ríos.

Al realizar un análisis de las muestras de sal de la misma marca, los resultados obtenidos de los análisis no siempre coinciden ya que algunas veces una muestra sobrepasa el límite máximo permitido (2ppm.) mientras que otras muestras de la misma marca no lo hacen. Al entrevistar a los distribuidores de la sal en la capital se determinó que, estos reciben sal de diferentes salineras y el mismo lote sirve para empaquetar sal que luego se rotulará como si fueran de diferentes marcas, las cuales después son distribuidas a mercados, tiendas y supermercados. Esto quiere decir que una marca no siempre proviene de una misma salinera y por lo tanto al observar los resultados (cuadros 1 y 2 pags. 24 y 26) se evidencia que no todas las salineras poseen el mismo grado de contaminación, por lo que es importante realizar un estudio posterior muestreando directamente en cada salinera.

Se comprueba la hipótesis formulada al obtener los valores promedio de la concentración de plomo en la sal que consume la población de la ciudad capital de Guatemala los cuales exceden los niveles de plomo permitidos por entidades internacionales.

En el cuadro 5 de la pag. 73 se puede observar que la ingesta tolerable semanal provisional de plomo para adultos, es bastante más elevada que la ingestión semanal de plomo en sal estimada en el laboratorio, pero hay que tomar en cuenta que el plomo ingerido por una persona no tiene como única fuente la sal, sino por el contrario existen un sin número de fuentes contaminantes de este metal, tanto en alimentos como en el aire y agua; debido a que la excreción de plomo es mucho más lenta que la ingesta es realmente preocupante que la sal, que es un producto de consumo masivo, exceda los límites máximos permitidos ya que esto lejos de ayudar empeora la actuación de contaminación por plomo vía oral, aumentando la posibilidad de llegar a los límites nocivos para la salud como se muestra en el cuadro indicado. Es aún más preocupante la situación para los niños, madres lactantes y mujeres embarazadas.

Estadísticamente al comparar las técnicas de colorimetría y absorción atómica en forma cuantitativa no se observó diferencia alguna (t pareada pag 68).. Al comparar ambas técnicas en función de su detección de plomo en las muestras para saber si están o no contaminadas tampoco se encontró ninguna diferencia significativa(Kappa pag.69) ; además de observarse que la sal sí está contaminada con plomo y que ambos métodos tienen un acuerdo del 93.9%

Debido a la evidencia que se presenta en el análisis estadístico se asume que ambas técnicas son comparables y sustituibles.

10. CONCLUSIONES

- 10.1.- De la sal común que consume la población de la capital guatemalteca el 89.68% se encuentra fuera del límite máximo de plomo permitido según las normas de la FAO/WHO.
- 10.2.- El 23.53% de la sal refinada que consume la población guatemalteca se encuentra contaminada con plomo según las normas de la FAO/WHO.
- 10.3.- La sal común comercializada en la capital guatemalteca presenta un promedio de 8.82 ppm de plomo.
- 10.4.- La sal refinada comercializada en la capital guatemalteca presenta un promedio de 2.25 ppm. de plomo.
- 10.5 - Estadísticamente no existe diferencia significativa entre las técnicas de absorción atómica y colorimetría para analizar plomo en muestras de sal.

11.RECOMENDACIONES

- 11.1.- A los miembros del Comité Guatemalteco de Normas (COGUANOR) acelerar la publicación de la norma que regula los límites de plomo permitidos en la sal de consumo humano para la ingesta de la población guatemalteca
- 11.2.- A la Asociación Nacional de Salineros (ANSAL) realizar controles de calidad al producto que comercializan.
- 11.3.- A la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) controlar que las industrias no contaminen con sus desechos las aguas de los ríos que desembocan en el Océano Pacífico.
- 11.4.- Realizar el mismo estudio muestreando directamente en las salinas de todo el país.

12. REFERENCIAS

1. De la Roca Cuéllar W. A. Purificación de Cloruro de Sodio. Guatemala: Universidad de San Carlos, (Examen General de integración, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1986.
2. De Goyler E. Petroleum Geology. New York: Bull Assoc, 1925. 831 p.
3. Pinto Paiz ME. Determinación de residuos de plomo en materia prima y productos enlatados de tomate y frijol. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de Graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1983
4. González Salazar L E. Determinación de plomo y cadmio por espectofotometría de absorción atómica en pastas dentales de mayor consumo en Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1990
5. Velásquez S. Saturnismo en Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1980
6. Reilly C. Trace metals in food. Food Manuf, 1977. 52:60-63
7. Wayne R. Nutrient trace element composition of foods; analytical needs and biological systems. Anal chim 1978; 50: 190 - 194
8. Dulka J., Risby T. Ultratrace metals in some environmental and biological systems. Anal Chem 1976;48: 640 - 653
9. Cerklewski F. Influence of dietary zinc on lead toxicity during gestation and lactation in female rat. J Nutr 1979. 109 : 1703 - 1709
10. Silbergeld E., Goldberg A. Hiperactividad a death induced behavior disorder. Env. Health Perspect 1974. 7 : 227 - 232
11. Monitoring and assesment Research Centre, Global environmental monitoring system environmental hazards of heavy metals; Sumary evaluation of lead, cadmium and mercury. London: Marc publication, Doc Tec. 20 report, 1980. 42p (p1-18)
12. Expert committee on foods aditives; Evaluation of certain food aditives and contaminants; mercury, cadmium lead. Geneva: Joint FAO/WHO, DOC Tec. 16 Report, 1972. 32 p (16-24)
13. Schmidt EHF., Hildebrant AG. Health evaluation of heavy metals in Infants formulas and junior food. Germany: Beltz-offset druck, 1973. 189 (P64-68)

14. Klaasen CD., Amdur MO., Doull JD. Casarett and Doull's Toxicology; The basic science of poisons. 3ed. New York: Mcmillan P.C., 1986. 974 p (p582 - 635)
15. Filo O., Matherny M. Defining detection limits for trace elements in silicatos rocks. Acta Chim. Acad Sc. Hung. 1978: 98 (1) (P 13-28)
16. Mitsuchita C, et al. Evaporation of elements of high temperatures as applied to neutron activation analysis of alyminium. Annu. Pep res react. Inst Kyoto Univ. 1978; 111p (P57 - 66)
17. Cela T, Pérez B. Reactivo modificado a Fenton's para la determinación espectrofotométrica de plomo, cadmio y mercurio en carboximetil-celulosa. Analyst 1978; (p103 - 106)
18. Arena JM. Poisoning; Toxicology simpton and treatment. 4ed. Illinois: Charles C. Thomas publishier, 1979. 827p (p225-267)
19. Valle Vega P. Toxicología de alimentos. México: OMS, 1986. (p 144-156)
20. Kirk-Othonier., et al. Enciclopedy of Chemical Thecnology; Industrial Toxicology. 3ed. New York: John Wiley & Son, Vols 26, Vol 20. 1985 1985 (p114)
- 21 O'neill IK., Schullr P., Fishbeing L. Environmental cancinogenics selected methods of analysis. Zwitzerland: International agency for research on.
- 22 Organización Panamericana de la Salud. Normas Sanitarias de Alimentos; Aprobado por el consejo de ministros de salud pública de Centro América y Panamá. Washington D.C.: 1967. Vol. 1,
23. Food and Agriculture Organization of United Nations y World Health Organization. List of maximum levels recommended for contaminants by Joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. First series. Rome: 1974
24. Food and Agriculture Organization of United Nations y World Health Organization. List of maximum levels recommended for contaminants by Joint FAO/WHO. Codex Alimentarius Commission. Second series. Rome: 1976.
25. Food and Agriculture Organization of United Nations y World Health Organization. List of maximum levels recommended for contaminants by Joint FAO/WHO. Codex Alimentarius Commission. Thrid series. Rome: 1978.

26. Kauffmann D. Sodium Chloride. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1960. XII + 750p
27. Kirk R., Othomer D. Enciclopedia de Tecnología química. 1 ed. México: UTHEA. Tomo XV, tomo XIV, 1963 (p.108 - 123)
28. Gómez Salgado J., Quirós Rojas S. Calidad de la sal para consumo doméstico. Costa Rica: 1993.
29. Ministerio de Economía y Comercio. Norma oficial para la sal calidad alimentaria. Costa Rica: La Gaceta, 1989
- 30 Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Codex Alimentarius abreviado; normas varias. División 16. 1989. (p110- 111)
31. Health hazards of humans environmental lead. Geneva: WHO, Doc Tec. 1977.
32. Waldron H., Stofen D. Sub Clinical lead poisoning. London: Academic Press, 1974. 224 p
33. Arena J. Poisoning. 4 ed. Springfield: Charles C. Thomas Publishier, 1979 (p. 225 - 267)
34. Chisolm J. Lead Poisoning. Sci Ame, 1971. II + 224 - (p. 15-23)
35. National Food Processors Association and Can Manufacture Institute Guideline for controlling lead in processed foods. Washington D. C. : 1981 (p. 28)
36. Prasad A. Trace elements and iron and human metabolism. Plenum medical book, 1978 (p. 363 - 369)
37. Mahaffey K. Nutritional factors and suceptibility to lead toxicity. Health Perspect, 1974. VII (p. 107 - 111)
38. Mitchell D. Aldous K. Lead content of foid stuffs. Health Perspect, 1974 VII (p59 - 64)
39. WHO Health hazards of human environment. Prepared by 100 speciallists in 15 countries. Geneva:1977 (p160)
40. Potter N. La ciencia de los alimentos. 2 ed. (trad. del inglés de Anita Yates) México,D.F.: Edutex, 1978 (537-634)
41. Warwick M. Factors influencing the behavior of solder in tinsplate container. Food Sci Tech. Abst.198113 (4) 161.

42. Ballesteros G. et al. Concentración de plomo en sangre de niños de familias alfareras. Panamá: Boletín oficina sanitaria, Doc Tec. No 92, 1982 (p33-39).
43. Association of Official Analytical Chemist, Official Methods os Analysis 13 ed. Washington D.C.: 1980 (p397-398).
44. Lyman O. An introduction to statical methods and data analysis. Massachusetts: Duxbury Press, 1977 (p396-398).
45. Huising D. Huising J. Factors influencing the toxicity of heavy metals in food. Ecol. food. nutr. 1974 . 3 (4) 263-272.
46. WHO . Health hazards of human environmental, prepared by 100 special lists in 15 countries. Geneva: 1972 (178-180).
47. Underwood E. Trace elements 'in human and animal nutrition. 4 ed. London: Academic Press, 1977. (410-421).
48. Dreisbach R. Handbook of poisoning. 10 ed. California: Lange medical Publications, 1980. (p224-230).

13. ANEXOS

13.1 SAL (Cloruro de Sodio = NaCl)

13.1.1 GENERALIDADES;

La palabra **sal** se deriva del latín, mientras que el otro nombre utilizado, **halita** viene del griego HALS ($\lambda \Delta \zeta$ = mar), se encuentra en la naturaleza en estado sólido (sal gema o sal roca) y en salmueras.(1)

La sal es desde hace muchos siglos una parte esencial en la alimentación humana. La sal gema (halita) es la principal fuente de sal usada por la industria. Se ha formado por cristalización de agua salada estancada y se encuentra en forma de dos diferentes estructuras:

- a) La forma esencialmente igual a la que tenía cuando fue depositada: lechos estratificados o lentejas.
- b) La forma quebrada que De-Goyler ha definido como "estructura salina" que ocurre como domos, lacocitos, crestas y bolsas.(2)

La sal pura es incolora. El color de la raya sobre la porcelana es blanca. El mineral natural puede ser blanco, amarillento, café, naranja, rojo, verde, púrpura o azul. El color blanco es debido a la dispersión de luz por granos finos, cavidades microscópicas e inclusiones. Otros colores son usualmente debido a las impurezas. Los óxidos de hierro causan comúnmente, una coloración amarillenta, café o roja. Un color irregular azul de algunas sales de Stanfört, Alemania, se ha atribuido a varias causas y la más probable es la debida a la dispersión de la luz en partículas de dimensiones coloidales.(1)

El color puede ser cambiado o puede ser inducido a la sal transparente por exposición a alguna radiación ionizante, como luz ultravioleta, rayos X y rayos catódicos.

La sal cristaliza en el sistema cúbico, también llamado isométrico o regular con 23 elementos de simetría, el máximo número posible en un cristal.(26)

La sal pura no fluoresce cuando es expuesta a luz ultravioleta. La sal preparada de soluciones con trazas de iones divalentes como manganeso y plomo, fluoresce en color rosado profundo.

Por evaporación superficial de una salmuera a la presión atmosférica, se produce una cristalización en pirámides cuadradas huecas en forma de tolva, formadas por cubos muy pequeños.

La densidad es de 2.1 - 2.6 para la sal gema, para los cristales puros es de 2.165; el índice de refracción es de $N = 1.554$; punto de fusión $800 \pm 0.5^\circ \text{C}$; punto de ebullición 1314°C ; calor de fusión = 123.59 calorías/gramo.(27)

Es transparente a la luz y también a la radiación infraroja. No es mucho más soluble en agua caliente que en agua fría pues 35.6 partes de sal se disuelven en 100 partes de agua a 0°C y 39.8 partes de sal en 100 partes de agua a 100°C . Su calor de disolución es negativo -1.281 Kcal/mol a 18°C en 200 moles de agua. A la presión atmosférica normal, la salmuera saturada hierve a 108.7°C y contiene 28.4% de cloruro de sodio puro, su densidad es de 1.1978.(26)

13.1.2 SALMUERAS:

El mar es la mayor fuente conocida de salmueras y por esto el agua marina es utilizada extensamente para la producción de la sal en muchas partes del mundo. La sal común o cloruro de sodio se puede obtener de cuatro formas diferentes.

- 1) Minería de Tiro: explotación de las minas de sal gema.
- 2) Evaporación solar del agua de mar o del agua de lagos salados.
- 3) Aprovechamiento de salmueras naturales subterráneas por perforación de pozos y bombeo.

- 4) Perforación en vetas de sal roca, introducción de agua y bombeo de salmuera a la superficie.(1,28)

Por su origen, las salmueras, para usos industriales, pueden ser clasificadas así:

- a) Sal roca disuelta subterráneamente y bombeada a la superficie.
- b) Sal roca de mina, llevada sólida y disuelta para su uso.
- c) Salmueras subterráneas, bombeadas a la superficie.
- d) Sal solar, disuelta para su uso.
- e) Sal al vacío, producida sobre diferentes superficies y disuelta para su uso.(1,28)

13.1.3 USOS DEL CLORURO DE SODIO:

El cloruro de sodio (NaCl) o sal común es la materia prima básica para la producción de una gran cantidad de compuestos químicos como carbonatos y sulfatos de sodio, ácido clorhídrico, fosfatos de sodio y cloritos; también a través de sus derivados es la fuente de otros muchos compuestos: prácticamente todo el cloro proviene de la electrólisis del cloruro de sodio. Por ésto las salmueras tienen sus mayores usos en:

- 1) Producción de sal al vacío o sal granulada. El origen de la salmuera es en general sal roca que disuelve in situ, o bien, sal solar disuelta. Entonces dejando las impurezas disueltas en las aguas madres, no siendo necesario este tratamiento cuando la producción de sal al vacío es grande.
- 2) Producción de soda cáustica. Esta se produce invariablemente de sal roca..
- 3) Producción de salmueras para usos múltiples.(28)

La sal tiene muchos usos directos como sustancia. Se usa en la alimentación del hombre y de los animales, para evitar calambres de calor y para otros fines médicos. También se usa mucho para sazonar y conservar alimentos. Como en el curado de carnes y legumbres, en panaderías y muchos usos domésticos. Las industrias de productos lácteos consumen también grandes cantidades de cloruro de sodio para fabricar mantequilla, queso y otros productos.(1,28)

Se usan grandes cantidades de sal para curar y almacenar pieles, curar maderas y en forma indirecta la sal se usa mucho en mezclas con hielo para refrigerar vagones, también se usa para derretir el hielo en calles y carreteras, para estabilizar caminos con mezclas de sal y arcilla, para evitar que se levante polvo en los caminos, para prevenir la formación de escarcha en carreteras, vías férreas y como anticongelante en los embarques de carbón. También encuentra aplicación en la fabricación de hule sintético.(1,28)

Aplicaciones bien conocidas son la salinación de antibióticos, jabón y colorantes; la separación de preparados orgánicos y ruptura de emulsiones, la lixiviación y fusión de minerales de cobre, plata y plomo, la laminación de hojas de metales, temple de metales por cementación, en tratamientos térmicos de metales, liberación de gases de escorias y para hacer más fluidas las escorias viscosas. Se usa para agotar baños de colorantes, para fijar e igualar color y como diluyente en la fabricación de ciertos colorantes. En la agricultura se usa la sal en combinación con los fertilizantes, para salar el heno y para combatir malas hierbas.(1,28)

13.1.4 CONTAMINANTES DEL CLORURO DE SODIO:

En la naturaleza la sal nunca es encontrada absolutamente pura. Las impurezas más comúnmente encontradas en diferentes muestras de sal son:(2)

| IMPUREZAS SOLUBLES | IMPUREZAS INSOLUBLES |
|----------------------------------|----------------------|
| CATIONES | |
| Ca ⁺² | Anhidrita |
| Mg ⁺² | Dolomita |
| Ba ⁺² | Oxidos de hierro |
| B ⁺³ | Pirita |
| ANIONES | |
| (CO ₃) ⁻² | Cuarzo |
| (SO ₄) ⁻² | Calcita |
| Cl ⁻¹ | |
| Br ⁻¹ | |

Otros factores que pueden aumentar la contaminación en las salmueras, además de las naturalmente presentes (ver tabla composición de la sal oceánica pág. 45) se encuentran en:

- 1) Impurezas adicionadas por la clase de agua usada para la disolución de la sal
- 2) Contaminación industrial y de cualquier otro tipo en el agua de mar que se adiciona a la sal.
- 3) Impurezas adicionadas por el contacto de la salmuera con el equipo.

13.1.5 COMPOSICION DE LA SAL OCEANICA

| COMPUESTO | PORCENTAJE |
|--------------------------------|------------|
| NaCl | 77.76 |
| MgCl ₂ | 10.88 |
| MgSO ₄ | 4.74 |
| CaSO ₄ | 3.60 |
| K ₂ SO ₄ | 2.46 |
| MgBr ₂ | 0.22 |
| CaCO ₃ | 0.34 |
| TOTAL | 100.00 |

13.1.6 SAL PARA CONSUMO HUMANO:

Probablemente el empleo más importante del cloruro de sodio es como parte esencial de toda dieta humana, grandes cantidades de cloruro de sodio más puro se venden como sal de mesa; ésta puede llevar en algunos países agregada pequeñas cantidades de yodo y flúor. Toda la sal de consumo que es producida por la técnica de evaporación solar posee una pureza baja y va a depender en mucho de los cuidados que se tomen en su elaboración. Es por esta razón que la sal cruda (evaporación solar) debe ser sometida a diferentes tratamientos para mejorar su pureza o calidad antes de salir al mercado.

13.1.7 PROCESOS DE PURIFICACION DE LA SAL PARA CONSUMO HUMANO:

1) La sal cruda se somete a un proceso de molienda, luego se pasa a un secador el cual puede secar la sal hasta a una temperatura de 150°C. Del secador se pasa a un mezclador donde se dosifica con las sales de yodo y flúor en las cantidades que indique la NORMA vigente en el país productor y consumidor y luego se empaca el producto.

2) La sal cruda se somete a un proceso de molienda, luego se lava, centrifuga y seca a una temperatura aproximada a los 150°C. Después de secarla se le adicionan las sales de yodo y flúor y se empaca el producto.

3) La sal cruda se disuelve, se le efectúa un tratamiento químico para eliminarle ciertas impurezas, luego se filtra y se somete a los procesos de evaporación, cristalización y secado para obtener el producto de una gran calidad (aproximadamente 99%), Por este tratamiento se logra obtener la mejor calidad de sal y la sal obtenida se le conoce como sal refinada a la cual también se le agregan sales de yodo y flúor y se empaca.(28)

13.1.8 CARACTERISTICAS DE LA SAL PARA CONSUMO HUMANO:(29)

La sal para consumo humano, de acuerdo con sus características de pureza y granulometría será clasificada de la forma siguiente:

- 1) Sal Común o Gruesa: Producto procesado.
- 2) Sal Molida: Producto obtenido por la molienda de sal gruesa.
- 3) Sal Refinada: Producto procesado para eliminar sales higroscópicas de magnesio y calcio, impurezas orgánicas, arena, tierra y fragmentos de concha.(28)

13.1.9 SAL CALIDAD ALIMENTARIA (NORMAS OPS):

Se entiende por sal calidad alimentaria el producto cristalino que consiste predominantemente de cloruro de sodio (NaCl). Se obtiene del mar, de depósitos subterráneos de sal mineral o de salmuera natural. Tendrá un contenido de cloruro de sodio (NaCl) no inferior al 97% de la materia seca con exclusión de los aditivos. La sal debe presentarse en forma de cristales blancos y la granulación deberá ser uniforme. De acuerdo a su tipo será necesario que la sal contenga aditivos requeridos por la OPS en la siguiente proporción:

Yodo de 33 a 50 mg/Kg de sal expresado como I

Flúor de 225 a 275 mg/Kg de sal expresado como F.(28,30)

Aditivos permitidos para Sal Calidad Alimentaria(29)

| | |
|--|---|
| Antiglutinantes | Modificadores de la Cristalización: |
| -Carbonatos de Calcio y/o Magnesio -Oxido de magnesio; fosfato tricálcico magnésico, sódico-alumínico -Sales de aluminio, calcio, magnesio, potasio o sodio de los ácidos mirístico o esteárico | - Polisorbato 80 - Dimetilpolisiloxano |
| 20 g/Kg solos o mezclados | 10 mg/Kg* |

*Dosis máxima en el producto final.

Características Organolépticas.

| | |
|---------|--------------------------------------|
| ASPECTO | Cristales de acuerdo con tipo de sal |
| COLOR | Blanco |
| OLOR | Inodoro |
| SABOR | Salino |

Características Físicas y Químicas.(29)

| Característica | Tipo Común o Gruesa | Molida | Refinado |
|-----------------------------|---|--|---|
| | Mínimo 90% pasa por un tamiz No.8 (2.35 mm) | Mínimo un 90% pasa por un tamiz No.18 (1.0 mm) | 100% pasa por un tamiz No. 20 (0.85mm) mínimo un 25% pasa por un tamiz No.60 (0.25mm) |
| % humedad a 150°C máximo | 3.0 | 1.0 | 0.5 |
| % insolubles en agua máximo | 1.0 | 1.0 | 0.1 |
| % NaCl (base seca) mínimo | 97.0 | 97.0 | 99.5 |
| % antihumectante | 2.0 | 2.0 | 2.0 |

Contaminantes en Sal Calidad Alimentaria:(29)

| Contaminante | Dosis máxima Permitida |
|--------------|------------------------|
| Arsenio | 0.5 mg/Kg |
| Cobre | 2 mg/Kg |
| Plomo | 2 mg/Kg |
| Cadmio | 0.5 mg/Kg |
| Mercurio | 0.1 mg/Kg |

13.2 PLOMO

13.2.1 Historia

El plomo es el causante de la intoxicación profesional más frecuente en todo el mundo. La intoxicación por plomo es una de las enfermedades más antiguas que se conocen desde hace unos 2,000 años

La intoxicación por plomo es insidiosa y difícil de diagnosticar y por lo tanto pasa sin ser identificada, produciéndose así "Epidemia Silenciosa"

El tiempo necesario para producir síntomas, depende de la cantidad del compuesto que se ha ingerido, del grado en que puede disolverse y absorberse este compuesto en el intestino. La ingesta de plomo puede realizarse por inhalación, por la vía digestiva y por la piel

La intoxicación aguda es muy rara y aparece tras ingestión masiva de plomo. La ingestión crónica presenta tres formas: la gastrointestinal, la neuromuscular y la encefalopática. Los síntomas y signos comunes a las tres formas son: cefalea, insomnio, anemia, vértigos e irritabilidad. Cuando la enfermedad no es diagnosticada en su etapa primaria puede haber letargia, vómitos, convulsiones, parálisis y coma.

La absorción del plomo puede ser medida directa e indirectamente por medio de análisis bioquímicos que son altamente sensibles. Se han hecho reportes en la literatura otorgando mayor o menor confiabilidad a los diferentes métodos utilizados.

El envenenamiento por plomo o saturnismo, es una de las enfermedades ocupacionales más antiguas y mejor conocidas. Dividiendo las intoxicaciones industriales, solo es más antigua la intoxicación con CO. Se habla de plumbismo desde los años 460-357 A.C.

El plomo fue usado para fabricar figuras, amuletos, anillos, mallas para pescar, construcción de armazones para edificios. Hay evidencias de su uso en ciudades antiguas de Egipto, China, Roma, etc. El uso tan extenso de este metal sugiere que los casos de intoxicación fueron frecuentes.

13.2.2 Ecología del Plomo:

13.2.2.1 Propiedades Físicas y Químicas del Plomo y sus Compuestos:

El plomo (número atómico 82, peso atómico 207.19 y gravedad específica 11.34) es un metal suave, de color azulado, plateado o grisáceo. Su punto de fusión es de 327.5°C. Se encuentra naturalmente en forma de 4 isótopos: 208, 206, 207 y 204 en orden de abundancia.(31).

Aunque el plomo tiene 4 electrones en su capa electrónica, solamente dos se ionizan rápidamente, así que el estado de oxidación en los compuestos inorgánicos de plomo (II), a excepción de los nitratos, cloratos y en menor grado los cloruros son generalmente poco solubles. Algunas sales que se forman con ácidos orgánicos, como por ejemplo el oxalato de plomo, son también, insolubles.

Bajo condiciones apropiadas de síntesis se forman compuestos orgánicos estables, en los cuales el plomo se une directamente al átomo de carbono. Ejemplo de esto son el tetraetilato y tetrametilato de plomo que tienen una gran importancia como antidetonantes en la gasolina.

13.2.3 Fuentes ambientales de Plomo de Origen natural:

El plomo se encuentra naturalmente en la corteza terrestre; hay áreas con mayor concentración entre las cuales se pueden enumerar las siguientes:

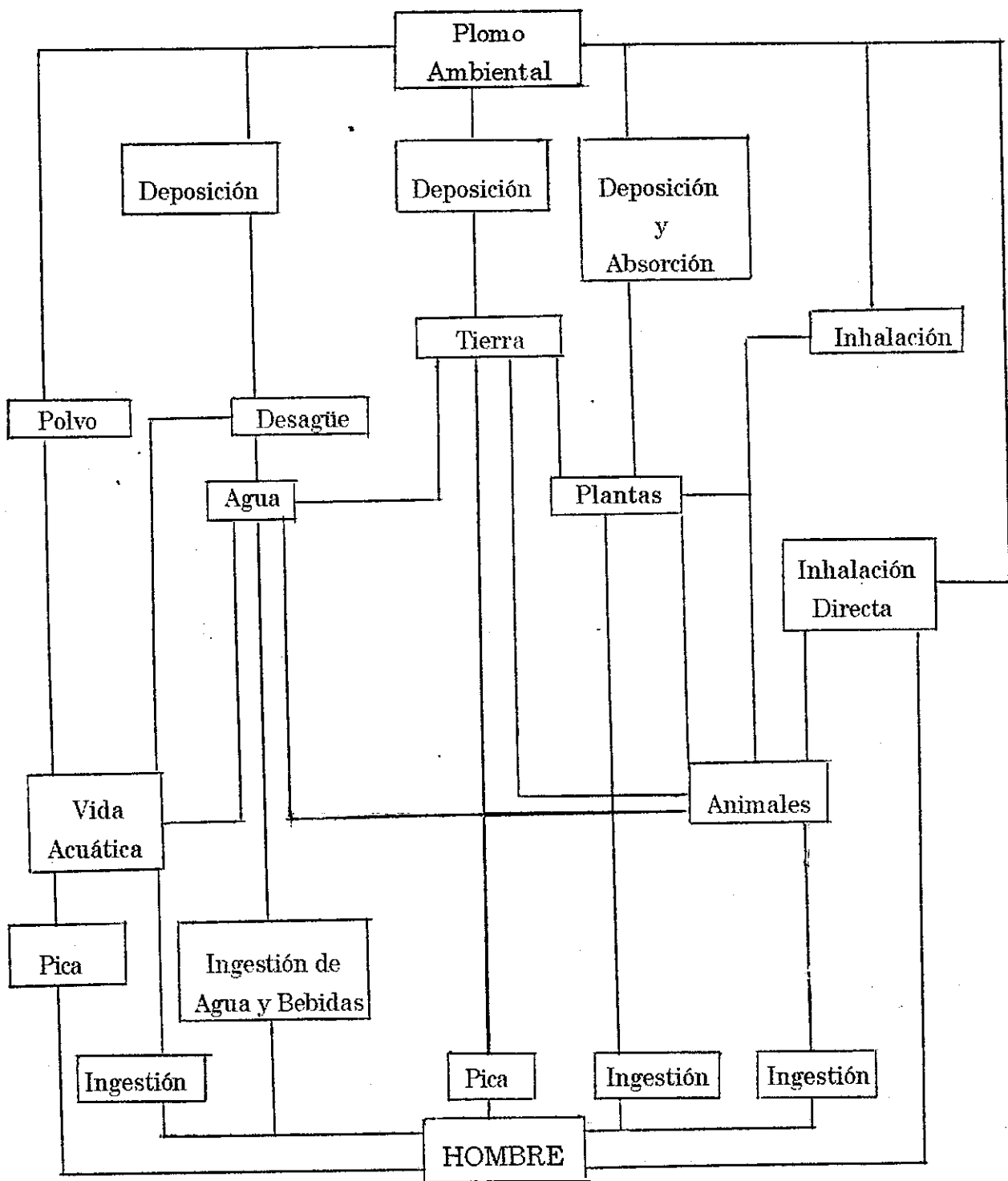
- a) Rocas
- b) Atmósfera (29)
- c) Agua (31)
- d) Tierra (31)
- e) Plantas (31).

13.2.4 Fuentes Ambientales de Plomo de Origen Industrial:

El plomo se considera como una de las mayores fuentes de contaminación ambiental (31,32). En la industria existen muchas fuentes de contaminación por plomo entre las cuales se encuentran:

- a) Explotación minera de plomo
- b) Fundición y refinación del plomo
- c) Fabricación de acumuladores, baterías y radiadores
- d) Utilización de colorantes rojo, amarillo y negro de plomo en tintas para periódicos y revistas (33,34,35,36,37).
- e) Polvo o fragmentos de pintura en casas pintadas con pintura de plomo (33,35,36,38).
- f) Uso de pintura de cromato de plomo (33).
- g) Insecticida de arsenato de plomo (31,36).
- h) Humo de cigarrillos (31,33,39).
- i) Enlatado de alimentos (37,40,41).
- j) Uso de tuberías de plomo para la distribución de agua potable (33).
- k) Cerámica de barro inapropiadamente vidriada (33,39,42,43,44).
- l) Fabricación de bebidas alcohólicas clandestinas (34,35,45).

13.2.5 CONTRIBUCION DEL PLOMO AMBIENTAL AL TOTAL DE PLOMO
INGERIDO.(31)



13.2.6 METABOLISMO DEL PLOMO

13.2.6.1 Absorción:

La absorción del plomo se realiza a través del aparato respiratorio, del sistema gastrointestinal y de la piel.(32,35) La absorción depende del estado físico y químico del metal, de la cantidad presente en las fuentes ambientales, de la vía de absorción y de los factores del huésped como la edad y el estado fisiológico.(39,45,46)

La absorción del plomo es función de la actividad metabólica del cuerpo. Un adulto bajo condiciones normales absorbe de 1 a 10% del plomo ingerido, mientras que un niño normal puede absorber hasta el 50% de la dosis ingerida. Estudios experimentales con perros y ratas indican que una gran parte del plomo ingerido oralmente es absorbido por el duodeno, es transportado a través del hígado y es reexcretado en el tracto gastrointestinal con la bilis.(33)

Los factores que pueden incrementar la absorción de plomo y exagerar sus efectos tóxicos son:

- Deficiencia de hierro en la dieta.(38,39)
- Bajas concentraciones de calcio, fósforo, proteínas y zinc en la dieta(9, 38, 39, 45).
- Aumento de la concentración de la vitamina A en la dieta.(34,39)

13.2.6.2 Distribución y acumulación de plomo en el organismo:

Una vez absorbido por el tracto gastrointestinal el plomo migra inicialmente a los órganos y sistemas del organismo, especialmente al hígado y al riñón. Posteriormente el plomo es recirculado, metabolizado, excretado o almacenado en el esqueleto bajo una forma biológicamente inerte e insoluble, es decir, como fosfato de plomo.(33)

El plomo tiene una gran tendencia a localizarse y acumularse en los huesos y sólo es nocivo cuando se moviliza. Se cree que la desmineralización de los huesos ocurre cuando la acidosis es inducida por fiebre y causa un aumento del plomo en la circulación. Su deposición ocurre durante la

mineralización del tejido en formación y su eliminación durante el proceso de reabsorción ósea, la mayor parte del plomo restante se encuentra en la médula ósea, sangre, hígado y riñones.

Recientes estudios han probado que la concentración de plomo en los huesos aumenta a través de la vida, lo que no sucede en los tejidos suaves. El esqueleto parece ser el depósito de plomo que refleja la exposición acumulativa por un largo período de tiempo, mientras que los fluidos corporales y los tejidos suaves se equilibran razonablemente rápido y por consiguiente reflejan una exposición reciente. En los fluidos y los tejidos suaves el plomo es metabolizado rápidamente por agentes quelantes, mientras que en los huesos no puede ser liberado tan fácilmente por este mecanismo.(38, 47).

El aumento de corticosteroides y paratohormona aumentan la movilización del plomo en los huesos. La liberación puede ocurrir también en estados metabólicos especiales como acidosis, preñez, trauma o infección.(38, 46, 47)

La acumulación de plomo en el cuerpo humano se inicia en la vida fetal debido a que el plomo puede atravesar la placenta. Existe una considerable cantidad de evidencia experimental y clínica de que el feto está más propenso a la toxicidad del plomo en los períodos de intenso crecimiento. También se ha encontrado que la concentración de este metal en la sangre del cordón umbilical del recién nacido es similar a la concentración en la sangre de su madre. Este fenómeno se ha observado en áreas de baja, media y alta contaminación atmosférica.(34)

En el riñón hay una gran acumulación subcelular a nivel de la mitocondria. Esta acumulación es potencialmente dañina para la función renal normal, debido a que el ADP-estimulador de la respiración de la mitocondria es inhibido por el plomo.(38, 47)

La distribución intracelular del plomo se ha estudiado en tejidos de ratas, principalmente con las técnicas de fraccionamiento celular.

El plomo tiene afinidad por las membranas celulares, en especial por las mitocondrias. Estos organoides experimentan alteraciones funcionales y ultraestructurales en los órganos afectados con la distribución intracelular de muchos metales como Mercurio, Cobre y Hierro .

13.2.6.3 Excreción:

La excreción de plomo se realiza a través de las heces y de la orina. La mayor parte del metal en las heces representa la cantidad de plomo ingerido y no absorbido en el intestino.(32, 47)

Los valores de excreción de plomo encontrados en personas no expuestas ocupacionalmente son aproximadamente:(7)

| | |
|----------------------------------|---|
| Orina..... | 38 $\mu\text{g}/\text{día}$ (76% del total) |
| Secreción gastrointestinal..... | 8 $\mu\text{g}/\text{día}$ (10% del total) |
| Pelos, uñas, sudor y otros | 4 $\mu\text{g}/\text{día}$ (8% del total) |

Poco se sabe acerca de diversas vías de excreción como sudor, exfoliación cutánea y la pérdida en el cabello. No se conoce bien el mecanismo de la excreción urinaria del plomo sin embargo se cree que el proceso de eliminación real del plomo es esencialmente por filtración glomerular. Los metabolitos formados dependen del grado de exposición al plomo. En personas altamente expuestas se han encontrado que de la mitad a dos tercios de plomo urinario puede coprecipitarse con agentes coprecipitantes como el oxalato, el fosfato o el carbonato, mientras que en personas menos expuestas todo el plomo urinario coprecipita (31).

13.2.7 Carga corporal de plomo:

Cada persona posee una carga corporal de plomo. Esta se describe como el balance entre la cantidad de plomo absorbido y la cantidad de plomo excretado. Se ha llegado a la conclusión de que la excreción diaria de plomo por las heces, orina, sudor y pelos es similar a la ingestión diaria del metal.(32, 33)

Los tejidos que se utilizan para cuantificar la carga corporal de plomo

son: Los huesos, en éstos se encuentra el 94-95% de la carga corporal en los adultos no expuestos ocupacionalmente; el pelo, los dientes y tejidos suaves.(31, 46)

El total de plomo absorbido y distribuido en los huesos y los tejidos suaves es de 100 - 400 mg en la mayoría de los adultos. Para un hombre de 60-70 años de edad la cantidad promedio de plomo es de 200 mg. Mientras que en la mujer es más baja.(31)

13.2.8 Fisiología

13.2.8.1 Toxicidad del plomo:

Los efectos tóxicos más serios del plomo se deben a su acción sobre el sistema nervioso, el sistema hematopoyético y el riñón.(33, 48)

13.2.8.1.1 Efectos tóxicos del plomo sobre el Sistema Nervioso:

Los efectos del plomo sobre el sistema nervioso son de carácter funcional y estructural, afectando tanto al sistema nervioso periférico como al sistema nervioso central.(33) El principal efecto sobre el sistema nervioso central es la encefalopatía.

El contenido de plomo en el cerebro, aún en casos fatales de intoxicación, es relativamente bajo. Las anomalías observadas a nivel del sistema nervioso pueden ser el resultado de un déficit en la energía metabólica de las células. Estudios experimentales sobre el sistema nervioso periférico en casos de intoxicación por plomo sugieren cambios degenerativos en las células de soporte de los nervios periféricos y, secundariamente, en la vaina de mielina de los nervios. Además parece ser que el plomo compite con el calcio, interfiriendo con la transmisión del impulso nervioso.(32, 33)

13.2.8.1.2 Efectos tóxicos sobre el sistema hematopoyético:

La intoxicación por plomo provoca anemia básicamente por dos causas: Interferencia en la síntesis del hem y aumento de la destrucción de los eritrocitos.

La hemoglobina, proteína portadora de oxígeno en el eritrocito, está formada por cuatro polipéptidos y cuatro grupos de hem. (El hem o protoporfirina ferrosa IX, es el componente que da su color característico a la hemoglobina).

El oxígeno se une reversiblemente al hierro del hem y es transportado con la sangre a los tejidos corporales. El hem también es un constituyente esencial de otros pigmentos respiratorios como los citocromos. La síntesis del hem comprende varios pasos que son catalizados por enzimas cuya actividad puede ser inhibida por la unión de plomo con sus grupos sulfidrilo.(35)

13.2.8.1.3 Efectos tóxicos del plomo sobre el riñón:

En ciertas células el plomo se concentra en la mitocondria en forma de inclusiones densas, alterando la estructura de las mismas y por consiguiente dañando su metabolismo energético. Estas inclusiones son complejos de proteína-plomo en las cuales el metal se une en forma no difusible.(32, 33)

El daño que ocurre a nivel de las células tubulares causa fallas en la reabsorción de algunas moléculas orgánicas pequeñas como los aminoácidos, la glucosa, el ácido úrico y los fosfatos. Esta disfunción se llama síndrome de Falconi y aparece solo con niveles altos de plomo en la sangre (mayor de 150 $\mu\text{g}/100$ ml de sangre). (25, 35)

13.2.8.1.4 Otros efectos tóxicos del plomo:

- Endócrinos:

Puede presentarse una disminución de la secreción hormonal de la hipófisis e hipotiroidismo.(31, 32)

- Reproductivos:

La intoxicación severa de plomo ha sido asociada con esterilidad, abortos y muertes neonatales en el ser humano.(33, 37)

- Pulmonares:

La inhalación de plomo puede disminuir las defensas pulmonares a otras partículas contaminantes y agentes infecciosos.(32)

13.2.8.2 Sintomatología clínica de la intoxicación por plomo:

Los síntomas de una intoxicación por plomo van desde un cólico hasta una encefalitis. Hay evidencia de que aún a muy bajas concentraciones el plomo puede afectar el bienestar general y causar desórdenes en la conducta, especialmente en los niños.(6)

A niveles de 40 $\mu\text{g}/100$ ml de sangre no se han observado signos clínicos; estos comienzan a aparecer cuando la concentración rebasa este nivel.

Los niveles de plomo sanguíneo son:

- En personas no expuestas ocupacionalmente:

* Nivel normal = 15-40 $\mu\text{g}/100$ ml con promedio de 25 $\mu\text{g}/100$ ml.

* Nivel excesivo = 50-80 $\mu\text{g}/100$ ml.

- En personas ocupacionalmente expuestas:(42)

* Nivel aceptable = 40 - 80 $\mu\text{g}/100$ ml.

* Nivel excesivo = 80 - 20 $\mu\text{g}/100$ ml

- Nivel peligroso para ambos casos = mayor de 120 $\mu\text{g}/100$ ml.

Estos niveles no son aplicables a los niños, ya que los signos pueden aparecer con niveles de concentración más baja.

13.2.8.3 Sintomatología de la intoxicación aguda:

La intoxicación aguda por plomo se presenta después de la ingestión de plomo soluble o compuestos de plomo rápidamente absorbidos. Se manifiesta por un sabor metálico, dolor abdominal, diarrea, vómitos, excrementos negros, y en casos más graves, oliguria, colapso, coma y muerte.(48) En este tipo de intoxicación la concentración de plomo sanguíneo es mayor de 500 µg/100 ml.

13.2.8.4 Sintomatología de la intoxicación crónica o saturnismo:

La intoxicación crónica por plomo es provocada por la ingestión, absorción tópica o inhalación de partículas de plomo en forma continua.

-13.2.8.4.1 Temprana:

Pérdida del apetito y del peso, constipación, apatía o irritabilidad y desórdenes de la conducta especialmente en niños. Se presentan vómitos ocasionales, fatiga, dolor de cabeza, debilidad, sabor metálico y anemia. La anemia plúmbica ocurre en un rango de plomo sanguíneo de 60-120 µg/100ml; no se distingue de anemias producidas por otras causas.(33, 48)

-13.2.8.4.2 Más avanzada:

Vómitos intermitentes, nerviosismo, incoordinación, dolor vago en los brazos, las piernas y las articulaciones (neuropatía periférica) y cólico abdominal, este último asociado con niveles de plomo sanguíneo de 80 µg/100 ml. Hay disturbios del ciclo menstrual y abortos.(48)

-13.2.8.4.3 Severa:

Vómitos persistentes, ataxia, períodos de estupor o letargo, encefalopatía, disturbios visuales, presión arterial, parálisis del nervio craneal, delirio, convulsiones y coma.

13.2.8.5 Diagnóstico de la intoxicación por plomo:

Lo insidioso del padecimiento y la ausencia de síntomas específicos suelen dificultar su diagnóstico. Los métodos usualmente utilizados en laboratorio para detectar plomo se dividen en:

1) **Métodos Directos:**

Básicamente se refieren a la cuantificación de plomo en la sangre y orina por medio de espectrofotometría de absorción atómica.(42)

2) **Métodos Indirectos:**

Se basan en la acción inhibitoria que ejerce el plomo sobre algunas enzimas involucradas en la biosíntesis del grupo hem.

Estas pruebas reflejan el daño celular mientras que la determinación de plomo en la sangre permite establecer un índice de absorción.(42)

Con los métodos indirectos se determinan: la actividad de la enzima deshidratasa del ácido deltaaminolevulínico, la concentración de la coproporfirina III o la concentración de la protoporfirina IX en la sangre.(33, 42)

Los rayos X pueden evidenciar la presencia de plomo en los huesos por medio de bandas transversales características en la intoxicación crónica.(48)

13.2.8.6 Tratamiento en la intoxicación por plomo.

13.2.8.6.1 Para la ingestión oral y reciente de plomo:

Se hace un lavado gástrico con agua caliente o con una solución de Na_2SO_4 al 1%. Después se da al paciente una solución catártica de 30 g de MgSO_4 para remover el plomo del tracto gastrointestinal y reducir su absorción. Para este propósito puede usarse también leche u otros demulcentes.(33, 37, 48)

Para controlar el dolor y el cólico se da intravenosamente una solución de glutamato de calcio al 10%, la cual se repite si es necesario; puede también administrarse sulfato de morfina.(33)

13.2.8.6.2 Para la intoxicación crónica:

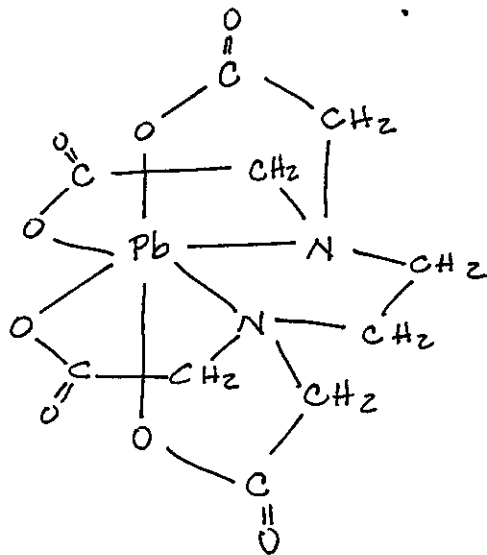
Se administra intravenosamente una ampolla de 1 g de versenato disódico cálcico (CaNa_2EDTA), o sea quelato de calcio disódico del ácido etilendiaminotetracético. El tratamiento se hace dos veces diarias, por goteo durante cinco días. El CaNa_2EDTA se disuelve en 250 a 500 ml de solución salina normal. El tratamiento se vuelve a repetir dos días después de haber sido interrumpido. Para niños la dosis no debe exceder de 0.5 mg/30 lb de peso corporal.

Otros antídotos usados son: El DPTA (Acido dietilenotriaminapentacético), la penicilamina y, para el tratamiento de la encefalitis, el BAL (British Anti-Lewisit) en combinación con el EDTA.

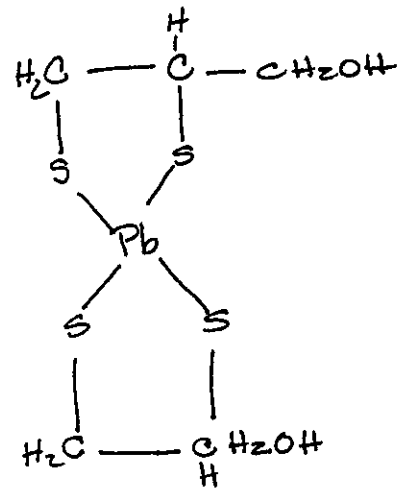
Estos tres agentes quelantes son moléculas que tienden a unirse firmemente al átomo del plomo, removiendo a este metal de los tejidos por excreción a través del riñón y el hígado. Por consiguiente, el plomo en los tejidos puede reducirse rápidamente a niveles cerca de los normales, lo que conlleva a que ciertos efectos metabólicos adversos también se supriman. Pero los daños a nivel cerebral son irreversibles.(34)

Se ha reportado que la tasa de mortalidad en pacientes con encefalopatía es cerca del 25%. La mitad de los sobrevivientes tienen un retraso mental permanente. La recuperación completa de otras formas de intoxicación por plomo toma más de un año.(48)

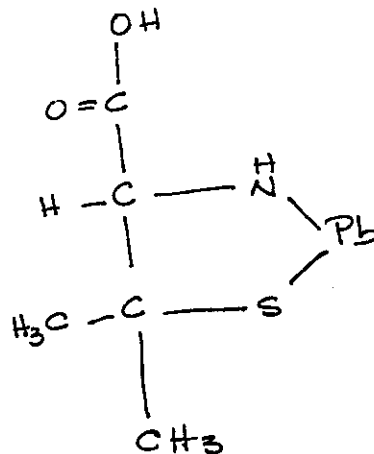
13.2.7.7 AGENTES QUELANTES USADOS EN EL TRATAMIENTO DE INTOXICACION POR PLOMO Y LUGAR DE UNION DEL METAL CON ESTOS COMPUESTOS.



EDTA



BAL



D-PENICILAMINA

13.3 SENSITIVIDAD Y LIMITES DE DETECCION DE LA TECNICA DE ESPECTROFOTOMETRIA POR ABSORCION ATOMICA

Los Términos "sensitividad" y "límite de detección" describen dos características de rendimiento instrumental en absorbanza atómica. La Sensitividad (*) es una convención para definir la pendiente de la curva de calibración con respecto a la llama, se le expresa en términos de unidades de absorción de 1%; o en términos de unidades de absorción, la sensitividad viene a ser los microgramos del elemento por mililitro, que den una absorbanza de 0.0044. Si las medidas son hechas en la región de trabajo lineal, la sensitividad para la absorción atómica de un elemento, puede ser determinada, leyendo la absorbanza producida por una concentración conocida del elemento y resolviendo la ecuación de proporcionalidad para la concentración que produciría una absorbanza de 0.0044, como se muestra a continuación:

$$\frac{\text{Conc. de estand}}{\text{Abs. medida}} = \frac{\text{Sensitividad}}{0.0044} \quad \text{y} \quad \text{Sensitividad} = \frac{\text{Conc. est } 0.0044}{\text{Abs. medida}}$$

Los valores de sensitividad para determinadas condiciones instrumentales, son generalmente dadas para un instrumento. El conocimiento de la sensitividad esperada, permite a un operador, determinar si las condiciones instrumentales están optimizadas y si el instrumento está rindiendo de acuerdo a sus especificaciones, simplemente midiendo la absorbanza de una concentración conocida y comparando el resultado con el valor esperado. Un valor conocido de la sensibilidad también permite predecir el rango de absorbanza que será observada por un rango de concentraciones que produciría niveles de absorbanza óptimos, simplemente utilizando las relaciones mostradas anteriormente

(*) La nomenclatura IUPAC usa el término "concentración característica" en lugar de "sensitividad". Como el último es el término comunmente usado, será también utilizado.

Debería notarse que sólo la magnitud de la señal de absorción puede ser predecida del valor dado para la sensibilidad. No nos da información sobre la absorbancia mínima y en consecuencia sobre la concentración mínima, que puede ser medida. El factor limitante en la medida de pequeños valores de absorbancia, está dado por el ruido o fluctuaciones de la línea de base, el cual no está considerado en el cálculo de la sensibilidad.

TRAZADO DEL LIMITE DE DETECCION



La definición del "límite de detección" incorpora consideraciones tanto de tamaño de la señal como del ruido de la línea base, para que de esta manera, obtener una indicación de la más baja concentración del elemento que puede ser medida. Se define el límite de detección como la concentración que haga el cociente señal-ruido igual a 2. La figura anterior ilustra el perfil registrado de una medida de absorción en su límite de detección. Esta es la más baja concentración que puede ser claramente diferenciada de cero.

En resumen, los conceptos de "sensibilidad" y "límite de detección" tienen importantes características que deberían ser comprendidas. La sensibilidad define sólo el tamaño de la señal de absorción. Sirve como referencia para optimizar el instrumento.

Conociendo la sensibilidad también es posible determinar la concentración óptima de la muestra para el análisis.

El límite de detección describe las características de la relación señal-a-ruido, para el instrumento. Este término es de gran importancia analítica ya que describe la capacidad analítica del instrumento y suministra una forma de estimar el valor mínimo de detección.

13.4 CUADROS Y GRAFICAS



CUADRO No.1

CONCORDANCIA ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE LOS METODOS
 POR ABSORCION ATOMICA Y COLORIMETRIA PARA DETERMINAR
 Pb EN SAL DE CONSUMO

| Variable | Obs * | Medida | Desv Standard | Min. | Max |
|----------|-------|--------|---------------|------|-------|
| A | 25 | 7.674 | 5.046887 | 1.5 | 18.47 |
| B | 25 | 7.116 | 4.825301 | 1.5 | 18.48 |

Diferencia = 0.55799996

t - estadística : 0.40 con 48 d.f.

Prob> : t : = 0.6912

A= muestras de sal analizadas por Absorción Atómica.

B= muestras de sal analizadas por Colorimetría.

Obs*= número de muestras analizadas por cada método.

Min. y Max.= límites de los resultados de los análisis por ambos métodos.

CUADRO No.2

CONCORDANCIA ENTRE LOS VALORES DE LOS METODOS DE
 ABSORCION ATOMICA Y COLORIMETRIA PARA DETERMINAR Pb EN
 SAL

| | | | | | |
|---|---|-------------|------------|------------|---|
| | | A | | Marginales | Resultados Concordancia Bruta: 0979 |
| | | + | - | | |
| B | + | 37 | 0 | 37 | (0.821 1.000) Error Estandar Kappa 0.06016 |
| | - | 1 Kappa: | 10 0939 | 11 | |
| | | 38 | 10 | 48 | Ho: K = 0, P- Valor:0.00000 |
| | | IC= 95% | | | |

A+= muestras de sal analizadas por Absorción Atómica cuyo resultado excede los límites máximos permitidos .

A-= muestras de sal analizadas por Absorción Atómica cuyo resultado no excede los límites máximos permitidos.

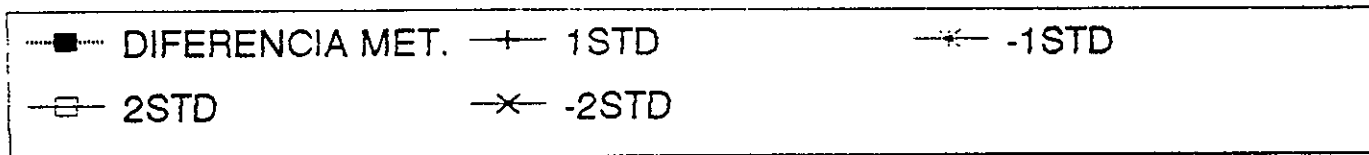
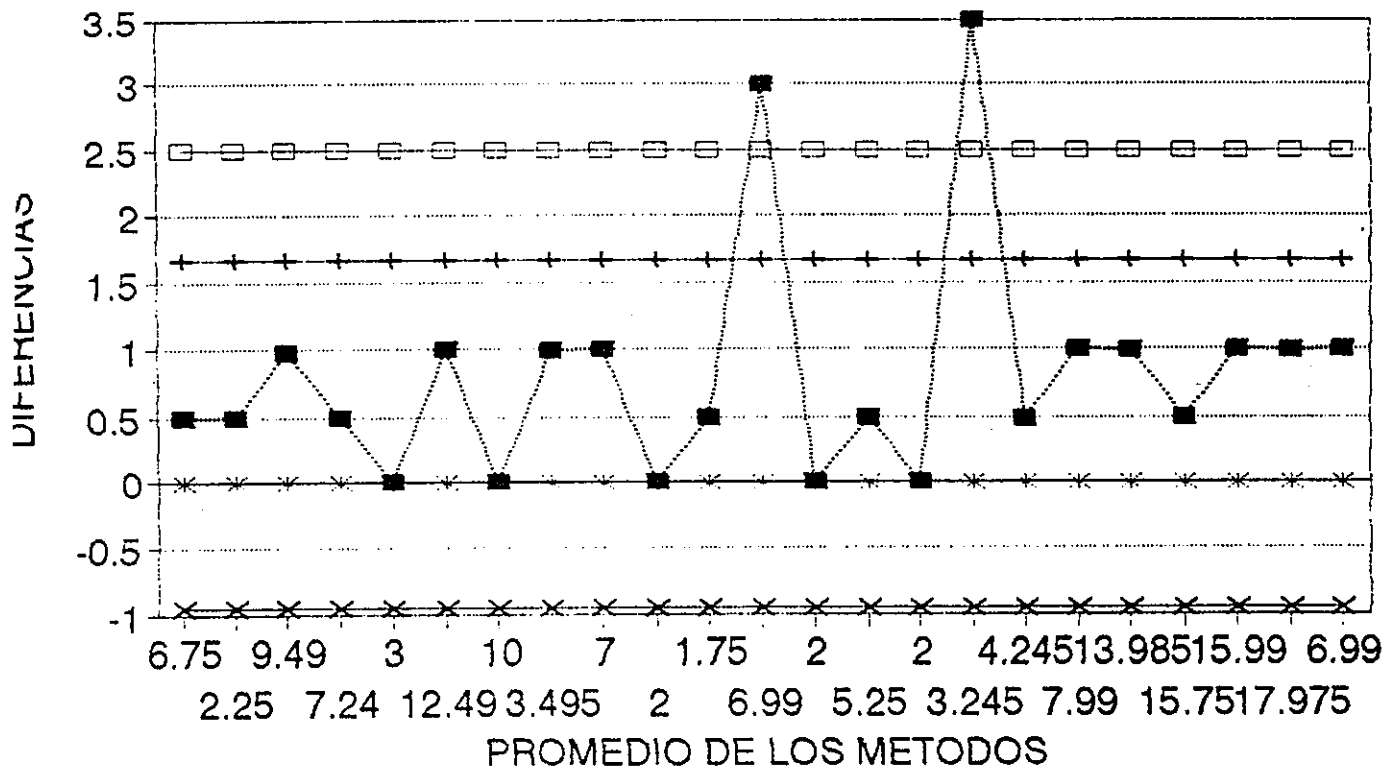
B+= muestras de sal analizadas por Colorimetría cuyo resultado excede los límites máximos permitidos.

B-= muestras de sal analizadas por Colorimetría cuyo resultado no excede los límites máximos permitidos.

IC = índice de confianza

GRAFICA No. 1

COMPARACION GRAFICA DE [Pb] POR AA. Y COLORIMETRICO



CUADRO No. 3

Valor promedio de Plomo en sangre*
(1980)

| Nivel Normal | Personas no Expuestas Ocupacionalmente | Personas Expuestas Ocupacionalmente | Nivel Tóxico |
|--------------|---|--|--------------|
| 15-40 | 23.3 | 41.8 | 60 |

* Concentración expresada en μ g plomo/100 ml sangre.(5)

CUADRO No.4MUESTRAS DE SAL ANALIZADAS
EN LA U.A.I. DE LA
U.S.A.C.

| No. | Muestra | mg de Pb/Kg de sal |
|-----|---------|--------------------|
| 1 | | 19.98 |
| 2 | | 42.43 |
| 3 | | 19.94 |
| 4 | | 41.15 |
| 5 | | 29.94 |

Ref. octubre de 1994.

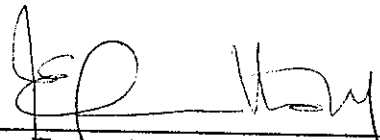
U.A.I= Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

CUADRO No. 5

COMPARACION DE INGESTA DE PLOMO REAL E
INGESTA TOLERABLE PERMITIDA

| Ingesta Semanal Promedio de Sal Común | Ingesta Semanal Promedio de Sal Refinada | Ingesta Semanal Tolerable Permitida | Nivel Tóxico |
|---------------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------------|
| 0.435mg Pb | 0.123mg Pb | 0.039mg Pb | <u>2.75mg Pb</u> 60ml. sangre |

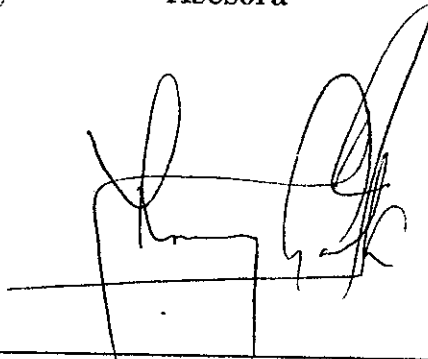
Persona con 55 Kg. peso.



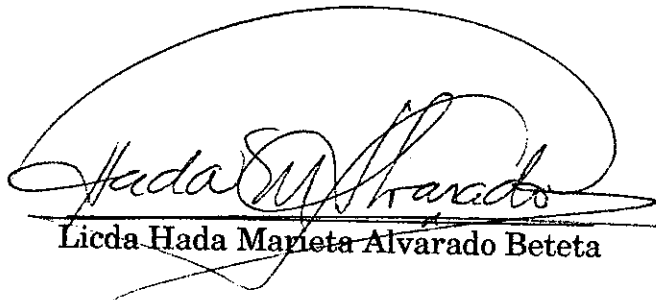
Rosa Eugenia Pinetta Magarín
Autora



Licda Aura Elizabeth Padilla Arreaga
Asesora



Lic. Rony Estuardo Ayala Jimenez
Director



Licda Hada Marieta Alvarado Beteta