

5
2ej°



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

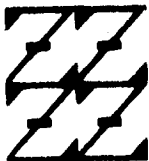
CUANTIFICACION DE METALES PESADOS (Pb y Cd)
EN ALIMENTOS INFANTILES ENVASADOS.



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICO DE ALIMENTOS
P R E S E N T A :
MARCO VINICIO CABALLERO CHAVIRA

U N A M
F E S
Z A R A G O Z A



LO VINCULO EN
DE NUESTRA DEFENSION

MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Asignado

Presidente: Prof. Federico Galdeano Biezobas.

Vocal: Prof. Lucía Cornejo Barrera.

Secretario: Prof. Josefina Viades Trejo.

1er. suplente: Prof. Josefina Elizalde Torres.

2do. suplente: Prof. Martín Mocuzet García

Sitio donde se desarrolló el tema:

Lab. 4-A, Edif. "A", Departamento de Alimentos y Biotecnología,
Facultad de Química, UNAM.
Campus 2 Lab. 328, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

Asesor del tema:

M. en C. Lucía Cornejo Barrera



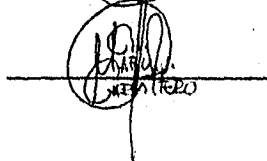
Supervisor técnico:

M. en C. A. Lourdes Castillo Granada



Sustentante:

Marco Vinicio Caballero Chavira



Los agradecimientos nunca han sido mis preferidos, y no porque no me agraden, pero cuando uno piensa en dar gracias, los nombres de las personas que intervinieron se multiplica y uno tiende omitir a algunos; por lo que de antemano me disculpo si en los siguientes parrafos omito a alguien. Pero quiero que sepa que esa omisión no se da en mis recuerdos.

Primero que a nadie y después que a todos, doy gracias a Dios. Este Dios que todos conceptualizamos diferente, pero que gracias a Él tenemos y logramos todo.

"Bendeciré a Yahveh en todo tiempo,
sin cesar en mi boca de alabanza;
en Yahveh mi alma se gloria.
Bendice a Yahveh, alma mía,
del fondo de mi ser, su santo nombre,
bendice a Yahveh, alma mía,
no olvides sus muchos beneficios."

Sal. 34 2-3; 103 1-2.

Agradezco a mis padres por haberme apoyado y orientado para finalizar este gran proyecto que inicio desde la primaria.

Mamá, gracias por todo ese amor que me tienes y que fue el que me apoyo todo este tiempo, tanto material como espiritualmente. Gracias por estar junto a mi todavía, y doy gracias a Dios de que podemos disfrutar la finalización de este proyecto juntos. Te quiero Mamá.

Papá, gracias por ese apoyo que me diste durante toda mi carrera, y que a pesar de que a veces no concordamos en nuestra forma de pensar, sólo quiero que recuerdes que te quiero.

A mi hermana Violeta, por estar presente en mi vida, ya que sin ti estaría muy sólo. A pesar de que en ocasiones nos peleamos y nos enojamos, al final sólo recuerda que te quiero hermanita y que agradezco que estes conmigo en la finalización de mi carrera.

A mi novia Guille, a la cual le agradezco su apoyo durante toda la carrera, y que gracias a ella no la deje a la mitad. Gracias por haber estado conmigo en mis buenos y malos ratos dentro de la facultad, sólo puedo decirte gracias y que te quiero mucho.

A todos mis amigos que tuve la oportunidad de conocer, apreciar y trabajar con ellos durante mi estancia en esta facultad. Gracias Zaida, Ezequiel, Adrián, Gabriela Sanchez, Rebeca, Sandra Centeno, Juan Carlos Muñoz y tantos otros que de una o de otra forma forman parte de mis recuerdos.

A todos mis profesores, les doy las gracias por haberme enseñado sus conocimientos, y en especial a aquellos profesores que me ofrecieron su amistad y apoyo. Gracias Lucía Cornejo, Lourdes Gómez, Federico Gaideano, Lourdes Castillo, Victoria Coutiño.

Y para terminar le doy las gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química, por abrirme sus puertas y el ofrecerme la posibilidad de realizar una licenciatura. Y al final sólo puedo decir que:

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

INDICE

INDICE.

	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
CAP.1 ANTECEDENTES TOXICOLÓGICOS + MINERALES EN EL ORGANISMO. + METALES TÓXICOS.	6
CAP.2 ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	28
CAP.3 METODOLOGÍA	38
CAP.4 RESULTADOS	44
CAP.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
CAP.6 CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	58
ANEXOS	61
BIBLIOGRAFÍA	68

TABLAS, FIGURAS, GRÁFICAS Y DIAGRAMAS.

	PÁGINA
TABLA 1. Clasificación de metales en el cuerpo.	10
TABLA 2. Niveles de toxicidad de plomo	15
TABLA 3. Concentración de cadmio en alimentos infantiles	21
TABLA 4. Resultados del análisis proximal y del contenido de plomo y cadmio en productos a base de frutas.	45
TABLA 5. Resultados del análisis proximal y del contenido de plomo y cadmio en productos a base de leche.	45
TABLA 6. Resultados del análisis proximal y del contenido de plomo y cadmio en productos a base de vegetales.	46
TABLA 7. Resultados del análisis proximal y del contenido de plomo y cadmio en productos a base de jugos de frutas.	46
TABLA 8. Valores máximos permitidos para alimentos infantiles.	51
FIGURA 1. Fuentes y rutas de exposición al plomo.	16
FIGURA 2. Técnicas de la Espectroscopia Atómica.	29
FIGURA 3. Pasos fundamentales en la Absorción Atómica.	33
DIAGRAMA 1. Transformación de la muestra a átomos libres.	32
DIAGRAMA 2. Diagrama de trabajo.	39
DIAGRAMA 3. Preparación de la muestra.	42

INTRODUCCIÓN

El hombre ha explotado desde épocas remotas las riquezas mineras del planeta; de la tierra surgen minerales útiles para las diversas actividades del hombre, y los necesitamos tanto, que pocas veces pensamos que algunos de ellos pueden llegar a ser peligrosos para la salud de las personas que están expuestas a sus efectos. (24)

En los últimos años se ha producido un cambio en los hábitos alimenticios de la población en general de los países desarrollados y aquellos en vías de desarrollo, esto es provocado por una gran cantidad de alimentos industrializados y por el ritmo de trabajo al que se ven sometidas las familias; con lo cual también se ha visto afectada la población infantil, debido a que el tiempo que tienen sus padres para alimentarlos es menor, por consecuencia se ha incrementado notablemente el consumo de los alimentos infantiles envasados. (1)

Al ser elaborados estos alimentos en forma industrial, se consideró de suma importancia controlar los contenidos de metales pesados (plomo y cadmio), ya que su presencia en el organismo humano resulta ser tóxica. Con la industrialización, nos hemos acostumbrado a la presencia de otros elementos igualmente tóxicos como el mercurio y el arsénico. (1, 24)

La población infantil es especialmente sensible a la presencia de estos metales, debido a que su absorción es mayor en ellos que en los adultos en iguales condiciones, a causa de su mayor índice metabólico, con lo que se puede llegar a una absorción de hasta un 50% comparada con la de un adulto que es de entre un 5 a un 10%. (1)

Al revisar las Normas Oficiales Mexicanas que regulan a estos alimentos por parte de la Secretaría de Salud, se encontró que no existe un límite máximo establecido para la concentración de los metales de interés de esta tesis; y cuando existe es

por el cruce de valores (como es el caso de la Norma Oficial Mexicana para leches maternizadas infantiles en polvo, que sirvió para fijar los valores del anteproyecto de Norma Oficial Mexicana de productos infantiles envasados), en organismos internacionales encontramos valores recomendados por la FAO/OMS (en el CODEX ALIMENTARIUS) y por legislaciones de otros países como el Statutory Instruments (Inglaterra) y la Swedish Food Regulations (Suecia). (1)

Una observación a nuestras legislaciones es el gran vacío existente en cuanto a los límites de metales pesados que puede contener un alimento infantil, ya que no hay estudios que respalden en nuestro país los límites que se desean establecer.

En la realización de esta tesis se analizaron diferentes alimentos infantiles envasados, utilizando para la cuantificación de los metales pesados (plomo y cadmio) la técnica de espectroscopia de absorción atómica con llama, usando el método de digestión húmeda para la destrucción de la matriz.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Cuantificar metales pesados (Pb y Cd) en alimentos infantiles envasados, utilizando la técnica de espectroscopia de absorción atómica; para saber si los valores encontrados ayudan a establecer concentraciones máximas permisibles para el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, que regula la concentración de estos metales en los alimentos en estudio.

Objetivo particular:

- Probar la técnica oficial para la determinación de metales pesados por absorción atómica con llama, usando para destruir la matriz la digestión por vía húmeda. Proyecto de Norma Oficial Mexicana, NOM-117-SSA1-1994, Método de prueba para la determinación de Cadmio, Arsénico, Plomo, Estaño, Cobre, Hierro, Zinc y Mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica.

- Comparar los valores experimentales para ver si cumplen con las normas internacionales (CODEX ALIMENTARIUS) y establecer valores permitidos para el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, NOM-000-SSA1-1994, Alimentos envasados para lactantes y niños de corta edad.

CAPITULO 1.

ANTECEDENTES

TOXICOLÓGICOS

Para empezar hay que determinar la diferencia entre qué es un metal y un mineral. A nivel fisiológico y toxicológico la diferencia consiste en que un metal es aquel que se considera como tóxico para el consumo humano; y un mineral es aquel que para el consumo humano no resulta tóxico o peligroso, sino que éste es usado por el organismo para llevar a cabo ciertas funciones fisiológicas y/o bioquímicas. Aunque, a veces los términos son usados indistintamente por los autores de diferentes publicaciones (libros, revistas, etc.).

Se considera que hay 5 categorías de iones metálicos en los sistemas vivos, los cuales son:

- a) Nutrientes esenciales, la deficiencia de alguno de ellos provoca daño al organismo que es superado solamente por su administración.
- b) Estimulantes, hay metales esenciales y no esenciales que llenen este comportamiento, la presencia de estos estimula en ocasiones reacciones metabólicas.
- c) Inocuos, son aquellos metales que su presencia se considera como inerte (Ag, Au, Pt), aunque hay ocasiones que presentan características terapéuticas, por lo que este punto se encuentra todavía en discusión.
- d) Tóxicos, son aquellos que su presencia en bajas o altas concentraciones puede causar daños irreversibles al organismo y hasta la muerte. (10)

1.1. MINERALES EN EL ORGANISMO.

Entre los muchos minerales encontrados en el cuerpo, solo un pequeño número son conocidos por ser esenciales para la vida. La ausencia de estos minerales podría resultar en la aparición de síntomas de deficiencia de características patológicas.

Estos nutrimentos han sido divididos por algunos autores en dos clases de acuerdo a la cantidad en que sean requeridos por el organismo. Como se muestra en la tabla 1, el potasio, magnesio, calcio y sodio son clasificados como macro-nutrimentos y los restantes como micro-nutrimentos.

Es fácil demostrar que una dieta insuficiente de macro-nutrimentos puede resultar en desórdenes metabólicos, pero esto no sucede para los micro-nutrimentos.

Todos los minerales trabajan en el cuerpo en tres vías principales: como constituyentes de huesos y dientes; como sales solubles las cuales ayudan a controlar la composición de los fluidos y células; y como adjuntos esenciales para muchas enzimas y otras proteínas funcionales. (21)

Los minerales desempeñan funciones plásticas y reguladoras:

1. Plásticas.

Entre los minerales con funciones plásticas dominantes, se encuentran el calcio, el fósforo y el magnesio del esqueleto, de los dientes y de otros tejidos, el hierro de la hemoglobina.

2. Las funciones reguladoras más importantes de los minerales son las siguientes:

- a) Regulan la presión osmótica a través de las membranas celulares que permiten el ingreso de los nutrientes y la salida de los residuos del metabolismo, transportados por la sangre.
- b) Los metales participan para mantener la reacción alcalina, neutra o ácida de los tejidos y de los líquidos del organismo.
- c) Activan los procesos enzimáticos de la digestión, de la absorción y del metabolismo.
- d) Regulan la excitabilidad del sistema nervioso y la contracción muscular. (32)

1.2. METALES TÓXICOS.

Todos los minerales son tóxicos si su ingesta es mayor de la requerida, sin embargo algunos metales presentan por naturaleza mayor toxicidad. La definición dada para el término metal tóxico por el Dr. A. Phipps en su libro **Metals and Metabolism**, es aquel que pertenece a un grupo de elementos, los cuales no tienen un efecto benéfico ni esencial pero si son capaces de causar efectos indeseables en el metabolismo, aun a concentraciones bajas. (12,21)

El plomo y el cadmio pertenecen al grupo de metales traza acumulativos y potencialmente tóxicos para el hombre a bajas concentraciones. Ambos actúan inhibiendo ciertos sistemas enzimáticos fundamentales. Ambos metales se encuentran invariablemente en la atmósfera y en los alimentos, bien como componentes naturales (a concentraciones también naturales y no perniciosas para la salud), o bien, como contaminantes (a mayores concentraciones que pueden llegar a sobrepasar los límites de inocuidad). (18)

Tabla 1. Clasificación de metales en el cuerpo. (22)

Grupo	Mineral	% peso corporal
1. Minerales macro-nutrientes indispensables para la función corporal	Calcio	1.5-2.2
	Potasio	0.4
	Sodio	0.2
	Magnesio	0.05
2. Minerales micro-nutrientes indispensables para la función corporal	Hierro	0.0035
	Zinc	0.0025
	Selenio	0.0003
	Magnesio	0.0002
	Cobre	0.0001
	Molibdeno	
	Cobalto	
	Cromo	
	Silicio	
	Niquel	
3. Minerales que no se conoce todavía su esencialidad, pero se encuentran dentro de algunas células	Estaño	
	Bario	
	Arsénico	
	Estroncio	
	Cadmio	
	Vanadio	
4. Minerales que no tienen función metabólica conocida en el cuerpo	Plomo	
	Mercurio	
	Oro	
	Plata	
	Bismuto	
	Antimonio	
	Boro	
	Berilio	
	Lítio	
	Gallo	
Titanio		

Todos los metales de esta tabla son aportados por la dieta o por el medio ambiente al humano.

1.2.1. PLOMO.**A) Aspectos Generales.**

Es un metal gris y muy brillante (pero su brillo se empaña rápidamente), tiene temperaturas de fusión y de ebullición de 327.5 y 1,740°C respectivamente; con una masa atómica de 207.19 g/mol.

Entre sus compuestos derivados con importancia económica, está el tetraetilo de plomo $Pb-(C_2H_5)_4$, el cual es usado como antidetonante en gasolinas. El plomo puede formar varios tipos de aleaciones, siendo la más importante en alimentos la de plomo y estaño, usada en la soldadura de envases metálicos, ya en desuso. (3,9,10,12,16)

Además, otras fuentes de contaminación se encuentran representadas por procesos industriales como son la fabricación de baterías, soldaduras, cables, municiones, pigmentos, pinturas, cerámicas y lacas; en la industria del hierro y el acero, la petroquímica, textiles, celulosa y papel, en la metalurgia (9,10,16); otras fuentes son en insecticidas, fungicidas y herbicidas, como son las sales de ortoarsenito y ortoarseniato de plomo (3). En la figura 1 se muestran las fuentes y rutas de exposición al plomo conocidas hasta ahora.

El hombre absorbe el plomo, y lo deposita en los huesos y el cabello; lo elimina lentamente en heces, y en menor grado en orina y sudor. Su consumo excesivo produce cólicos abdominales, encefalopatía y anemia. La intoxicación o enfermedad provocada por el plomo se llama saturnismo o plumbismo. (2,3,12,18)

La exposición excesiva origina daños en los tubulos renales en los niños, daños que no son corrientes en los adultos, además; en los niños la encefalopatía por plomo va seguida de daño permanente en el cerebro, ya que basta la entrada de 0.6 mg diarios para que a los pocos meses ya surgan síntomas tóxicos, y la de 5 mg diarios para que estos aparezcan a las pocas semanas.

La considerable "apropiación" de calorías característica de los niños hace que un niño absorba más plomo que un adulto sometido al mismo régimen alimentario, debido a que un niño tiene un metabolismo más activo; por lo tanto un niño aspirará también de 2 a 3 veces más cantidad de algún contaminante presente en el aire que un adulto (3)

Aparentemente la absorción de plomo es más peligrosa por vía respiratoria que oral, debido al tamaño de partículas que son menores a un micrón, siendo fácilmente incorporadas en los alvéolos. Se consideró por muchos años como débil el porcentaje de penetración de plomo ionizado a través de la pared intestinal (entre un 5 y 10%), con una eliminación fecal del plomo ingerido del 90 a 95%. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que este porcentaje de absorción, podía alcanzar proporciones mucho más elevadas y variar considerablemente en función de los siguientes parámetros:

- La edad, estudios realizados por Alexander y col. (1974) que estimó en 53% la absorción en niños de 3 meses a 8 años; en adultos, en cambio, se confirmó los datos existentes obteniéndose una absorción cercano al 10%, RABINOWITZ y col. (1980).
- El sexo, en la absorción de plomo se encontró un mayor porcentaje en mujeres que en hombres.
- Las condiciones fisiológicas, en condiciones de ayuno previa a la ingestión podría elevar notablemente el coeficiente de absorción hasta el 70%.

- La forma física de los alimentos, la cual influye notoriamente en el porcentaje de absorción.
- La composición de los alimentos:
 - ⇒ Elementos minerales: el calcio, que sin duda comparte algunas propiedades con el plomo (por ejemplo, insolubilidad de los fosfatos) entra en competencia con él a nivel de ciertas proteínas de la mucosa intestinal, realizando así un activo papel en la absorción del plomo. Este antagonismo confirma numerosas observaciones descritas en la literatura según las cuales una dieta rica en calcio, tanto en el humano como en el animal, disminuye la impregnación por plomo.
 - ⇒ Glúcidos: la lactosa facilita de forma notable la absorción intestinal de plomo.
 - ⇒ Lípidos: la acción de las grasas sobre la absorción intestinal del plomo ha sido objeto de controversia. Parece, sin embargo, que una dieta enriquecida en grasas, y en particular en fosfolípidos, favorece la absorción por paso directo al sistema linfático.
 - ⇒ Sustancias diversas: la vitamina D favorece indiscutiblemente la absorción intestinal del plomo, ocurre lo mismo con la vitamina C, y finalmente el alcohol aumenta la absorción, probablemente por modificación de la permeabilidad intestinal o por aumento del ácido gástrico, en cambio, el ácido fítico que encontramos en el pan integral, disminuye considerablemente la absorción por formación de fitato de plomo insoluble. (17)

El plomo metálico se absorbe lenta pero firmemente por todas las vías, excepto por la piel. Los compuestos del plomo orgánico se absorben por la piel. (15)

B) Toxicidad.

A pesar de que no se conoce con certeza el mecanismo exacto que define la toxicidad del plomo; se sabe que afecta la síntesis de proteínas, daña las enzimas mitocondriales, distorsiona el metabolismo celular del calcio, afecta las conexiones sinápticas, tiene alta afinidad por los grupos sulfhídrico y es particularmente tóxico para enzimas que son dependientes del zinc. Un aspecto relevante es que dicho metal cruza fácilmente las barreras hemoencefálica y placentaria. (9,15,18)

En los países industrializados se ha detectado una absorción de plomo del orden de 200 a 300 μg por persona al día; en los ambientes urbanos se han hallado concentraciones mayores a 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de sangre en niños. (2,3)

Los síntomas de envenenamiento por plomo se asocian corrientemente con concentraciones en sangre mayores a 1.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$. La ingesta diaria dietética promedio es de 300 μg al día, del cual se absorbe el 5% y tiene una vida media de 4 años en todo el cuerpo. (2)

La intoxicación aguda de plomo produce pérdida del apetito y vómito. En la intoxicación crónica de plomo provoca mal funcionamiento renal, anemia, y desordenes en el sistema nervioso (mareos, convulsiones epileptiformes, pérdida de equilibrio en niños, pérdida de movimientos musculares), incluyendo daño cerebral en niños (10). En la tabla 2 se hace referencia a los niveles de toxicidad del plomo y sus efectos.

Tabla 2. Niveles de toxicidad de plomo. (9,12)

Concentración en sangre $\mu\text{g}/100\text{ mL}$	Ingesta diaria para obtener dicho nivel en sangre (mg)	Efecto
20	0.3	Normal. Sin efectos evidentes, algunos casos de toxicidad fetal
30	----	Efectos en el metabolismo de vitamina D.
> 40	1.0	Aumento del ácido δ -amino levulínico en orina y sangre.
> 80	3.0	Disminuye la cuenta de eritrocitos, cólicos abdominales, anemia, retraso mental progresivo en niños.
> 120	10.0	Daño agudo al cerebro y sistema nervioso central.

En la figura 1 se muestra las fuentes y rutas de exposición al plomo existentes y conocidas por el momento para el humano.

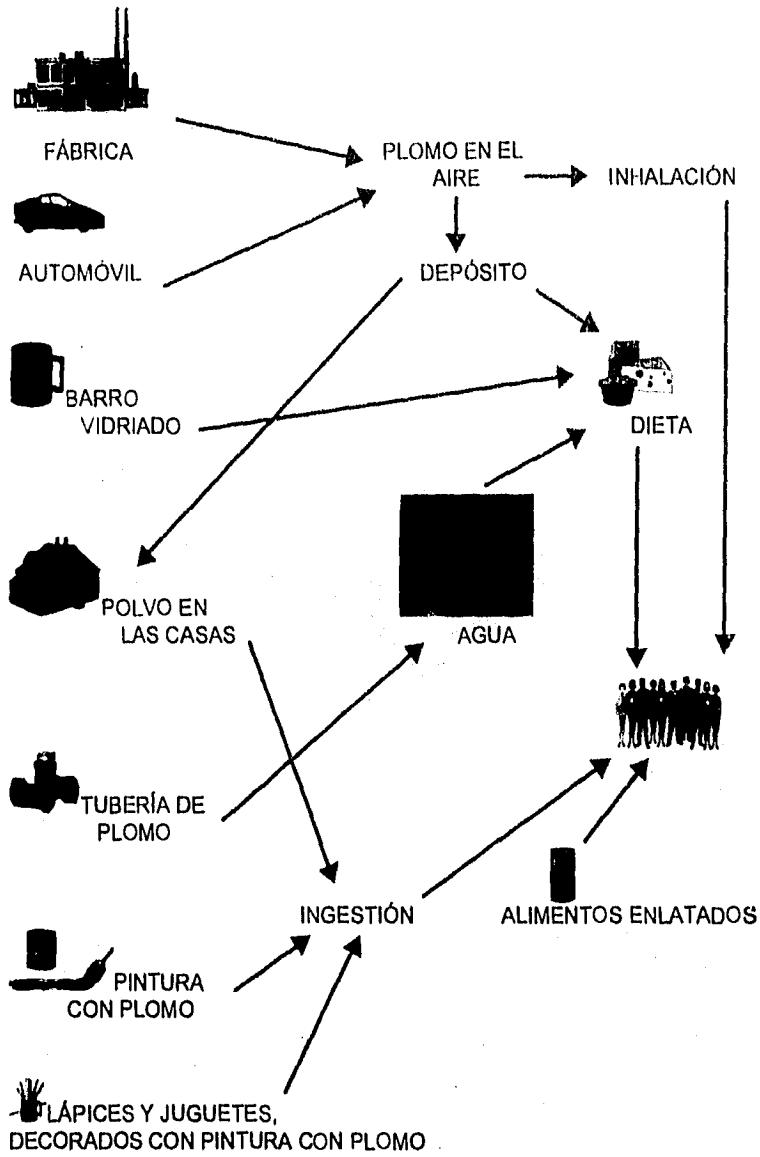


Figura 1. Fuentes y rutas de exposición al plomo. (9)

El saturnismo interfiere con algunos de los pasos de la biosíntesis del grupo hemo, la degradación del hemo y hemoglobina, y el daño oxidativo a eritrocitos con lo que se tiene determinantes de la anemia producida por el plomo.

La interferencia del plomo en la síntesis del grupo hemo se debe a la inhibición de la hemo sintetasa, la cual es la enzima mitocondrial que cataliza la inserción de hierro dentro de la protoporfirina IX, la que forma al grupo hemo (10) e inactivando también a la enzima ALA-deshidratasa, que cataliza la formación del porfobilinógeno a partir de 2 moléculas de ALA (ácido δ -amino levullínico), ambas enzimas contienen en su sitio activo grupos sulfhídrico. (17)

C) Legislación.

Para los alimentos de interés considerados en este trabajo de tesis, no existe legislación nacional que regule el contenido máximo permisible de plomo, el valor que se desea establecer provisionalmente en el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana de productos infantiles envasados es el de las leches maternizadas infantiles, el cual se fijó en 0.2 ppm de plomo. Lo anterior provoca un error en la decisión que hay que tomar al realizar las pruebas sobre los alimentos envasados infantiles; este tipo de errores es muy común en las legislaciones, ya que al no haber estudios al respecto se tienden a tomar valores de legislaciones internacionales.

En legislaciones extranjeras de que se tiene conocimiento que existe un tipo de regulación de metales pesados en alimentos infantiles, se encontraron dos reglamentaciones para plomo, la reglamentación inglesa (Statutory Instruments, 1972) establece un límite máximo de 200 ng/g (0.2 ppm) para este tipo de alimentos infantiles que no sean deshidratados y concentrados. En la

reglamentación sueca (Swedish Food Regulations, 1983) se establece el mismo valor que en la inglesa y para los mismos productos.

Al revisar en forma general las legislaciones internacionales, se observa que muchas de las recomendaciones que hay sobre plomo, no son aplicables a alimentos destinados a la población infantil; de lo anterior, un ejemplo es el CODEX ALIMENTARIUS de la FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios, que ha establecido una ingesta semanal tolerable provisional de 3 mg de plomo por persona, equivalente a 0.05 mg/Kg de peso corporal. (1,2,3)

Al no poder aplicarse la ingesta semanal tolerable provisional de plomo establecida por la FAO/OMS a la población infantil, no existe un criterio general a seguir para determinar si un alimento destinado a esta población tiene o no un nivel de concentración de plomo que supongan riesgo sanitario. (1)

Una organización estadounidense, The Lead in Food Regulations, nos marca como límite máximo de plomo para alimentos 2 ppm, con lo que también se denota una ausencia de control en alimentos destinados a los infantes, ya que se maneja el límite para alimentos en general y no en específico.

1.2.2. CADMIO.

A) Aspectos Generales.

Elemento simple de número atómico 48 y masa atómica 112.41 g/mol. Es un metal blanco análogo al Zn en cuyos yacimientos es frecuente hallarlo; funde a 320°C y hierve a 767°C con emisión de vapores anaranjados; es dúctil y maleable.

El cadmio se encuentra principalmente en forma natural en minerales y suelos (en asociación con el Zn); combustibles fósiles; roca fosfórica (el principal constituyente de fertilizantes de superfosfato), esta roca es la principal fuente de contaminación por cadmio debido a su alto contenido del metal; además, se encuentra también asociado al oxígeno (óxidos de cadmio), cloro (cloruros de cadmio) y azufre (sulfuros de cadmio) (10,12,15,24).

El cadmio se emplea en la actualidad para la fabricación de los materiales plásticos estabilizados con estearato de cadmio, así como diferentes accesorios para automóvil (neumáticos, defensas, acumuladores, etc.), cables eléctricos, celdas fotoeléctricas, cloruro de polivinilo, colorantes, fusibles, soldaduras, plásticos, fungicidas, barras para las centrales nucleoelectricas, textiles, joyería, vidrio, cerámica, lámparas incandescentes, etc.; se deben incluir además los desechos de los talleres de galvanoplastia, los barros industriales cada vez más utilizados como fertilizantes,. Hay que señalar por otro lado que el cadmio disuelto es un elemento mucho más difusible que el plomo y por lo tanto más contaminante. (17,24)

El cadmio se halla en los alimentos porque las plantas lo absorben del suelo y por causa de contaminación debida a diversas fuentes ya mencionadas; puede

hallarse además, en hígado y riñones de mamíferos, en moluscos, y por supuesto en crustáceos (3,4), en granos (especialmente arroz y el germen de trigo), té y café. (12)

Las fuentes de contaminación ambiental del cadmio, en general, se pueden dividir en antropogénicas (causadas por el hombre, representa el 85% del total) y naturales (emisiones volcánicas, fuentes biogénicas, incendios forestales). (24)

Como se ve, el cadmio es un metal que se encuentra ampliamente distribuido en muchos ámbitos de nuestra vida diaria y cada día sus aplicaciones se multiplican.

Entre los vegetales como las remolachas, las zanahorias y las espinacas; es donde se han encontrado altas cantidades de cadmio, las zanahorias pueden contener hasta 2467 ppb de cadmio. (4)

En la tabla 3 se muestran concentraciones de cadmio en alimentos infantiles, como se observa, todas las muestras tuvieron bajas concentraciones a excepción de remolachas, espinacas y zanahorias (4). Lo que se desea recalcar del cadmio es su fácil transferencia del suelo a los vegetales, en lo que difiere notablemente del plomo. (17)

La ingestión en los alimentos varía desde 50 μg a 150 μg diarios (4); en los alimentos frescos y en los enlatados se han encontrado niveles de cadmio de 0.01 a 0.18 ppm.

Los niveles de cadmio no son producto del proceso de enlatado o proveniente de las latas, sino que son propios de la materia prima. (18)

Tabla 3. Concentración de cadmio en alimentos infantiles. (4)

ALIMENTOS	CADMIO (ppb)
FRUTAS	
Salsa de manzana	6
Manzana, zarzamora	35
Salsa de manzana, albaricoque	8
Albaricoque, tapioca	nd ^a
Plátano, piña, tapioca	2
Durazno	5
Pera	20
Pera, piña	19
Ciruela, tapioca	2
Ciruela pasa, tapioca	nd
Manzana, mandarina, naranja, plátano	nd
VEGETALES	
Chícharo	8
Remolacha	311
Zanahoria (seca)	2467
Maíz (cremado)	9
Guisante dulce	7
Espinaca	818
Calabaza	43
Papa dulce (seca)	31
Mezcla de vegetales ^b	17
Mezcla de vegetales ^c	68
OTROS	
Spaghetti, tomate, carne de res	50
Pavo	34
Pavo, arroz	54
Vegetales ^d , tocino	60
Vegetales ^e , pollo (seco)	72

^a No detectable: límite de detección de cadmio es 1 ppb.

^b Zanahoria, guisante, chícharo, maíz, harina de arroz, almidón de arroz, ajo, semilla de apio.

^c Zanahoria, tomate, harina de trigo, harina de avena, papa, ajo.

^d Zanahoria, tomate, guisante, papa, ajo.

^e Zanahoria, guisante, tomate, papa, chícharo, ajo.

B) Toxicidad.

En general existen tres medios por los cuales nos exponemos al cadmio:

- | |
|---------------|
| - Ocupacional |
| - Ambiental |
| - Tabaquismo |

El ocupacional tiene que ver con el tipo de actividad desarrollada; la exposición ambiental puede darse por la contaminación del aire, suelo o del agua, o por la exposición a alimentos contaminados. (24)

El cadmio es tóxico para todos los sistemas y funciones humanas. El organismo absorbe muy lentamente el cadmio, el cual tiene una vida media de 10 años, como consecuencia, el cadmio se acumula en el riñón progresivamente a través de la vida desde una concentración cero en el nacimiento hasta 20 mg en una persona de edad media no fumadora; a parte del riñón también se almacena en hígado, pulmones, páncreas, intestino delgado, bazo y ovarios.

Si el consumo es en altas concentraciones provoca náuseas, vómito, diarrea, daños al riñón, al hígado y a los sistemas reproductores; entre los efectos agudos se observan alteraciones generalizadas, con problemas respiratorios, bronquitis, neumonía, arteriosclerosis e hipertensión: es antagonista del Zn. (2,10,12,17,24)

Una ingesta prolongada de cadmio altera el metabolismo de calcio, resultando en osteoporosis y problemas con el esmalte de los dientes; la enfermedad por la osteoporosis (también llamada osteomalacia) se le conoce como Itai-Itai (que significa Ouch-Ouch), este nombre se deriva del dolor en la espalda y piernas que causa la descalcificación, provocando fracturas fáciles. (10,12,18)

La carga total de cadmio fijada por nuestro organismo en hígado y los riñones se estima en una acumulación del 50 al 65% , teniendo en cuenta lo anterior, la FAO/OMS estima que no debe consentirse que las concentraciones de cadmio en el riñón aumenten más, debido a que el riñón es el órgano en donde se acumula en mayor cantidad. (2,10,12,17,24)

Algo importante de mencionar es que el cadmio puede ingresar al cuerpo por tres rutas diferentes:

1) Vía enteral, la cual se considera débil como en el caso del plomo, esta absorción según la mayoría de los autores es de 5 a 10 % del total ingerido en adultos; la absorción se realiza en el estómago y en mayor cantidad en el intestino delgado (17,24), sin embargo algunos factores modifican este porcentaje, los que aumentan el porcentaje son los siguientes:

- Los niños absorben más que los adultos.
- La deficiencia de Ca, Zn, Mg, Fe o proteínas. (24)

Un ejemplo de los que disminuyen el porcentaje de absorción es (17):

- La presencia de ácido fítico.

Los factores antes mencionados hacen que el porcentaje de absorción oscile entre un 15 hasta un 29%. (17,24)

2) Vía respiratoria, dependiendo del tamaño de la partícula se absorbe de 30 a 60% de cadmio del material inhalado.

3) Vía cutánea, siempre se ha considerado de menor importancia, pero en realidad se carece de estudios en seres humanos. (24)

Una contradicción interesante de resaltar del cadmio es que algunos autores (Helmut Sigel y col, 1986) señalan que el cadmio no atraviesa fácilmente la placenta como el metil mercurio (CH_3Hg^+) por lo que los recién nacidos presentan una concentración de cadmio nula; en cambio (Pedro Valle, 1986) señala que el cadmio puede pasar la placenta con posibles efectos mutagénicos para el feto. Con lo que se puede decir que hace falta más estudios al respecto para unificar conclusiones.

Se conocen tres mecanismos de la citotoxicidad del cadmio, los cuales se explican brevemente a continuación:

1. Sustitución del calcio.

El cadmio y el calcio tienen la misma carga y poseen un radio atómico similar, por lo que el cadmio es capaz de mimetizar la acción del calcio. El daño potencial de la sustitución del cadmio por el calcio se da porque este último regula muchas funciones celulares. Inclusive, el cadmio es capaz de activar a la calmodulina, proteína que por cierto, normalmente, tiene como función activar o inactivar a muchas otras proteínas en presencia de calcio. Es decir, el cadmio puede activar funciones celulares que normalmente sólo responden a la presencia del calcio. (24)

2. Interacción con grupos sulfhidrilo (grupos que en el estado reducido están compuestos por azufre e hidrógeno, SH).

Las proteínas por contar con diversas cantidades de este grupo químico a través del aminoácido cisteína, son las más atacadas por el cadmio. Lo especial del asunto es que algunas enzimas u otras proteínas requieren tener sus grupos sulfhidrilo libres u ocupados con otros metales para llevar a cabo su acción enzimática o su actividad celular. El cadmio entonces, al interactuar con estos grupos, podría inhibir dicha actividad. (4,10,12,24)

3. Generación de radicales libres.

Los radicales libres son moléculas ionizadas que se producen en forma normal en el interior de las células como consecuencia de numerosas reacciones químicas (generalmente por la acción de los iones del oxígeno). Dado que estas moléculas son muy reactivas por estar ionizadas, el organismo ha diseñado toda una gama de mecanismos para protegerse, el principal de ellos, es dependiente del glutatión; el glutatión está constituido por tres a.a., uno de los cuales es una cisteína. El hidrógeno del grupo sulfhidrilo de la cisteína lo dona el glutatión a la molécula ionizada para neutralizarla. La reacción anterior es fundamental para disminuir la concentración de radicales libres (moléculas ionizadas), y esta reacción se ve disminuida en presencia de cadmio, ya que este metal interactúa con el glutatión. (24)

Los radicales libres entonces interactúan con otras moléculas y pueden afectar su estructura; tal es el caso de las membranas celulares donde los lípidos y las proteínas pueden modificarse (peroxidación de lípidos y de proteínas), con lo que se afectan funciones tan importantes como la generación de energía en las mitocondrias.

De los mecanismos de toxicidad antes mencionados podemos concluir que los daños causados por la presencia del cadmio son múltiples, entre ellos tenemos la inhibición de enzimas, interacción con el DNA con resultados impredecibles, asociación y daño a membranas, interacción con organelos, unión a proteínas y efectos en los fenómenos regulados por el calcio. (24)

El organismo tiene dos mecanismos para evitar los daños producidos por el cadmio, uno de ellos está relacionado con el glutatión y el otro a la presencia de una proteína llamada metalotioneína.

Como se mencionó anteriormente el glutatión interactúa con el cadmio; a pesar de que se expuso que afecta la reacción de disminución de radicales libres, en el caso de una intoxicación aguda, es en el hígado en donde se acumula la mayor parte del metal, por lo que la interacción del glutatión y el cadmio es particularmente importante en las células del hígado. En los hepatocitos el complejo glutatión-cadmio es excretado por la bilis, y en otras células, el glutatión puede servir para fijar cadmio, o bien, al igual que en las células del hígado, para sacar el metal absorbido. (24)

En cuanto al otro mecanismo para fijar al cadmio es el que se presenta en una intoxicación crónica, que hace que el riñón sea el principal órgano afectado, en el cual se encuentra una proteína de bajo peso molecular, como lo es la metalotioneína. La característica de esta proteína es que tiene 20 aminoácidos de cisteína. (4,10,12,24)

Normalmente la célula presenta concentraciones bajas de metalotioneína, pero varios agentes (hormonas, fármacos, radiaciones, metales, etc.) pueden estimular su síntesis. El esquema de defensa, entonces, sería el siguiente: el cadmio entra en el organismo y gran parte del total que ingresó de inmediato es fijado por el

glutación, y en algunas células es excretado; otra cantidad menor de cadmio libre induce la síntesis de metalotioneína. Al llevarse a cabo la síntesis de la metalotioneína, las moléculas sintetizadas atrapan al cadmio libre restante. Bajo este esquema, el daño celular ocasionado por el cadmio sólo se haría evidente cuando las concentraciones del metal superaran a las de glutatión y de metalotioneína. (24)

C) Legislación.

Al igual que con el plomo, la falta de estudios tanto a nivel nacional como a nivel internacional se ha traducido en que no haya una legislación que regule la concentración de cadmio en los alimentos infantiles.

Solamente el CODEX ALIMENTARIUS, editado por la FAO/OMS, nos da un rango de ingesta semanal provisional tolerable para consumo humano de 0.0067 - 0.0083 mg/Kg peso corporal, que equivale a 400 y 500 µg por persona respectivamente. (1,24)

Al no poder aplicarse la ingesta semanal tolerable provisional de cadmio establecida por la FAO/OMS a la población infantil, como sucede con el plomo, no existe un criterio general a seguir para determinar si un alimento tiene o no niveles de concentración de cadmio que suponga riesgo sanitario para esta población. (1)

En cuanto al anteproyecto de Norma Oficial Mexicana (NOM-000-SSA1-1994), no contempla un valor máximo de cadmio permisible en los alimentos infantiles envasados, quedando sin control su contenido en estos alimentos. Las legislaciones consultadas para el caso del plomo, la Statutory Instruments y la Swedish Food Regulations, tampoco contemplan un valor máximo permisible en lo que se refiere a la contaminación con cadmio.

CAPÍTULO 2.
ESPECTROSCOPIA DE
ABSORCIÓN ATÓMICA

El proceso de excitación (absorción de energía) y de decaimiento al estado basal (emisión de energía) origina las tres técnicas de la Espectroscopia Atómica: (25)

- + Absorción Atómica
 - + Emisión Atómica
 - + Fluorescencia Atómica

En los tres casos es necesario llevar al elemento a cuantificar, a su estado atómico, en este estado es posible medir los cambios en la energía absorbida o emitida y aplicar ese valor a métodos analíticos Fig. 2. (25)

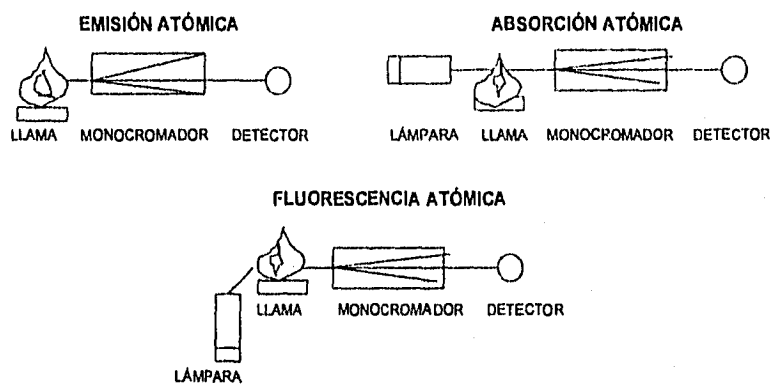


Fig. 2 Técnicas de la Espectroscopia Atómica.

La espectroscopia atómica analítica hace uso de la emisión, absorción o fluorescencia de la luz a longitudes de onda discretas en átomos vaporizados de una muestra, para la determinación de la composición elemental de la misma. La muestra, usualmente en solución acuosa, se introduce dentro de un dispositivo de alta temperatura, que puede constar de una descarga eléctrica, llama, u horno, donde es disociada en sus componentes atómicos. (22)

En la espectroscopia de emisión atómica, los átomos de la muestra absorben energía por colisiones con átomos y moléculas de alta energía cinética en el gas caliente, promoviendo a los electrones a niveles de alta energía dentro del átomo (excitado). Una fracción de estos átomos excitados regresan al estado basal emitiendo una radiación electromagnética a energías discretas (y, por consiguiente a longitudes de onda discretas) correspondiendo a las diferencias energéticas entre los niveles electrónicos de energía involucrados.

Lo mismo que los átomos excitados pueden emitir radiación, los átomos en estado basal pueden absorber la radiación de longitudes de onda apropiadas a la misma energía discreta, y esto contrario al proceso de emisión forman las bases de la espectroscopia de absorción atómica. (22)

Una tercera técnica, la espectroscopia de fluorescencia atómica, es básicamente una combinación de las dos primeras; la muestra atomizada primero absorbe radiación de una fuente externa, de átomos excitados apropiados, y la radiación emitida (fluorescencia) se mide. (22)

Cuando la radiación electromagnética característica de transiciones electrónicas en los orbitales externos de átomos de un elemento particular, pasa a través de un vapor atómico de este elemento, la radiación a ciertas frecuencias es atenuada. La radiación absorbida excita a electrones desde el estado basal a diferentes niveles de alta energía (estados excitados) y el grado de absorción es una medida cuantitativa de la concentración de átomos en el estado basal en el vapor (23).

El análisis cuantitativo por Absorción Atómica, que es el que nos interesa, se basa en los mismos principios que para la absorción de radiación por soluciones en el

UltraVioleta y Visible, sin embargo la manipulación de la muestra, el equipo y la obtención de la radiación electromagnética difieren. (23,25)

2.1 ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Los procesos físicos y químicos fundamentales que ocurren durante la transformación de una muestra en solución en un análisis espectroquímico, se pueden apreciar en el diagrama 1; como en el caso del análisis por absorción atómica, en el cual el elemento a cuantificar debe ser introducido a la celda de la muestra como átomos libres y neutros, a través de la celda pasa el haz de radiación que va a absorber la muestra. Frecuentemente este proceso se logra llevando una solución de la muestra como fina niebla a una llama apropiada, la cual desempeña la función de una celda conteniendo a los átomos del elemento a cuantificar. (25,31)

La explicación del diagrama 1 que se encuentra en la siguiente página es: por aspiración de la solución dentro de una llama vía un nebulizador, nos produce un fino spray o aerosol húmedo. El calor de la llama química primero desolvata, enseguida sufre una volatilización el aerosol. La absorción adicional de la energía termal sirve para convertir el vapor en átomos libres los cuales existen en equilibrio con iones y moléculas libres por ionización y asociación, respectivamente.

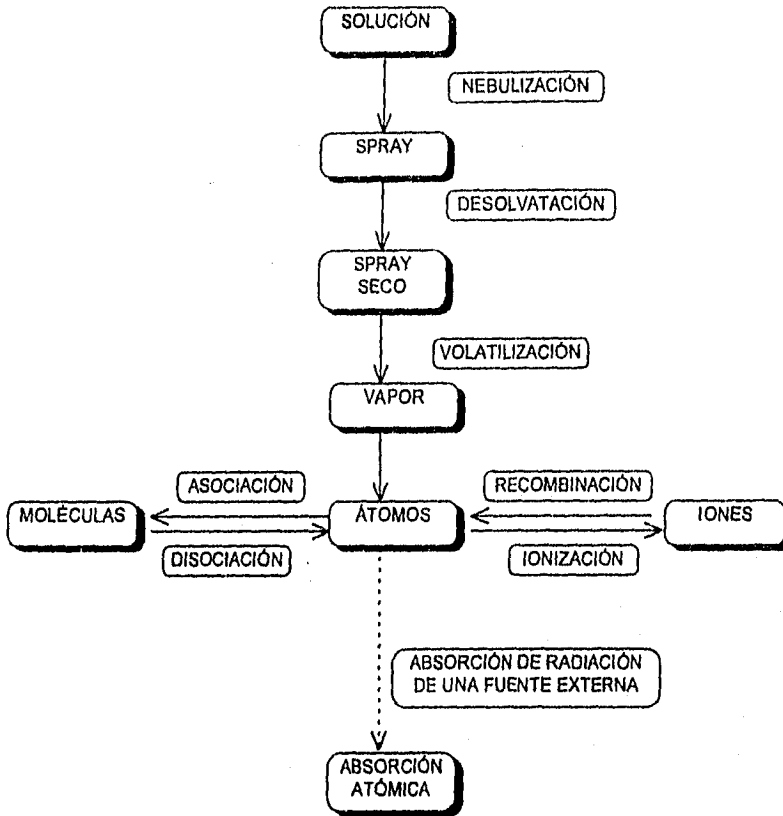


Diagrama 1. Transformación de la muestra a átomos libres. (31)

Un requerimiento importante para que el proceso de absorción atómica sea efectivo y resulte de utilidad, es que la cantidad de átomos excitados o ionizados por la llama sea despreciable. (25)

El análisis cuantitativo por absorción atómica se basa en el conocimiento de la cantidad de energía absorbida y su relación directa con la concentración del elemento a cuantificar. Se hace notar que esta energía absorbida tiene asociada una longitud de onda o línea de resonancia típica para cada elemento.

La radiación que proviene de la fuente con una intensidad I_0 , es dirigida hacia la flama (celda) que contiene átomos en el estado basal, la radiación que emerge I , disminuye en función de la concentración de átomos presentes en la flama, esta radiación I pasa por el monocromador y finalmente llega al detector, donde es cuantificada, ver Fig. 3. (25)

Lo anterior es análogo a la ley de Lambert-Beer relativo a muestras en solución, para mayor información ver el Anexo 1.

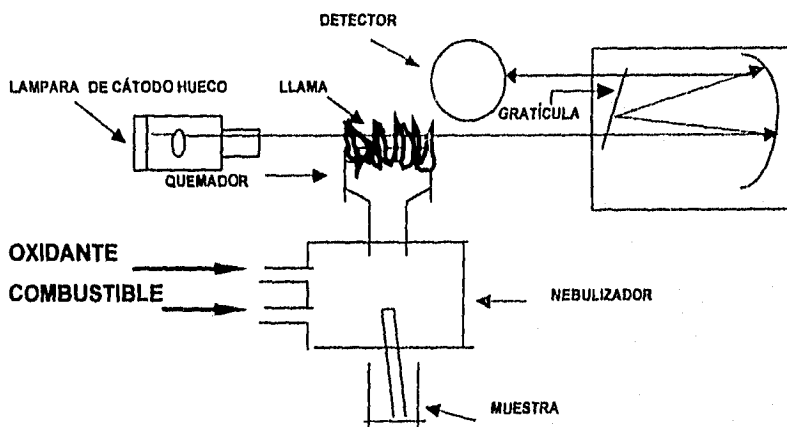


Fig. 3 Pasos fundamentales en la Absorción Atómica. (25)

2.2 APLICACIONES DE LA ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA EL ANÁLISIS DE ALIMENTOS.

La espectroscopia de absorción atómica (EAA) es ampliamente usada para la determinación de elementos trazas en alimentos y subproductos de alimentos. Hay muchos métodos aprobados (oficial, cuasi oficial, estandarizado, o recomendado), los cuales dan metodologías analíticas detalladas con respecto a EAA para el analista de alimentos. (26)

Mientras la técnica de EAA con llama es usada ampliamente para el análisis elemental en la industria alimentaria, en años recientes se han desarrollado nuevas técnicas como la EAA con atomización electrotérmica (horno de grafito), el cual es usado para determinar constituyentes trazas, hasta rangos de ppb. (26)

La aparición de elementos en alimentos es una función del rol biológico jugado por los elementos en la estructura y fisiología del tejido del alimento, y la contaminación sufrida durante el crecimiento, procesamiento y preparación del alimento. (26,31)

2.3 INSTRUMENTACIÓN.

Una configuración usual de un espectrómetro de absorción atómica consiste (depende el autor del libro) de 2 ó 3, y hasta 4 componentes básicos; en el siguiente cuadro se hace un resumen de lo anterior, además, para mayor información sobre el papel de cada uno de los componentes ver el Anexo 2, y ver también Figura 3. (22,25,26)

- + Fuente de radiación (emite el espectro del elemento deseado).
- + Celda para la muestra (sistema nebulizador-quemador).
- + Sistema óptico (monocromador, detector y partes electrónicas).

Los términos empleados en EAA, son principalmente: sensibilidad, precisión y límite de detección, los cuales son muy usados para referirse a las características del equipo; para conocer el significado de cada término ver el Anexo 3.

Los instrumentos comerciales disponibles en el mercado para absorción atómica, varían en complejidad y costo, sin embargo se consideran dos clases importantes:
(25)

- * Espectrofotómetro de un solo haz.
- * Espectrofotómetro de doble haz.

En nuestro caso, el instrumento usado fue el que se considera típico que es el de un solo haz para análisis de varios elementos, consiste en varias fuentes de cátodo hueco, un obturador, un nebulizador, un quemador, un monocromador de rejilla y un detector como se muestra en la Fig. 3.

En el caso de la atomización con llama, la cual se empleó para esta tesis, la mezcla combustible/oxidante como acetileno/aire son usados para muchos elementos fáciles de atomizar. Muchos otros elementos existen principalmente como monóxidos (es decir, moléculas, y por lo tanto no aprovechables para la absorción atómica) a la temperatura relativamente baja de una flama acetileno/aire.

Para estos, la sensibilidad analítica puede ser aumentada por el uso de una llama de temperatura alta, tal como acetileno/óxido nitroso; cambiando el equilibrio exotérmico:



para el metal (M).

Como una técnica analítica para determinaciones de elementos trazas, la espectroscopia de absorción atómica tiene importantes ventajas: Tiene una alta sensibilidad para muchos elementos, con quizás 60 o más elementos medibles en rangos de ppm (aprox. de 0.1 hasta 10 $\mu\text{g/mL}$, o aprox. 10^{-7} hasta 10^{-5} g en una base absoluta) con atomización con llama, y quizás la mitad de estos medibles de 10 a 1000 veces a concentraciones más bajas con atomización sin llama; es simple, rápido, relativamente de bajo costo, y altamente específico (con algunas interferencias). (22)

Las interferencias que se pueden presentar en EAA se dividen por lo general dentro de las siguientes categorías: (25)

- + Espectral.
- + Emisión de llama.
- + Químicas.
- + Ionización.
- + Dispersión no específica.
- + Matriz.

Para mayor información del cuadro anterior ver Anexo 4. Estas interferencias son bien conocidas por los analistas y son superadas con técnicas simples.

Las principales limitaciones de la técnica son: la necesidad de separar la línea origen (o de la fuente) para cada elemento a ser determinado y que presenta un rango dinámico limitado para una determinación dada, todas las muestras deben estar dentro de un intervalo de concentración aproximado a un décimo. (22,26)

Antes de realizar la cuantificación del analito por EAA, es necesario destruir la matriz orgánica y liberar al elemento. Muchos de los procedimientos de descomposición reportados caen dentro de uno de las dos clases que hay, como son la digestión húmeda y digestión seca.

Dentro de los procedimientos que se sugieren en la bibliografía para el tratamiento de la muestra tenemos: (26)

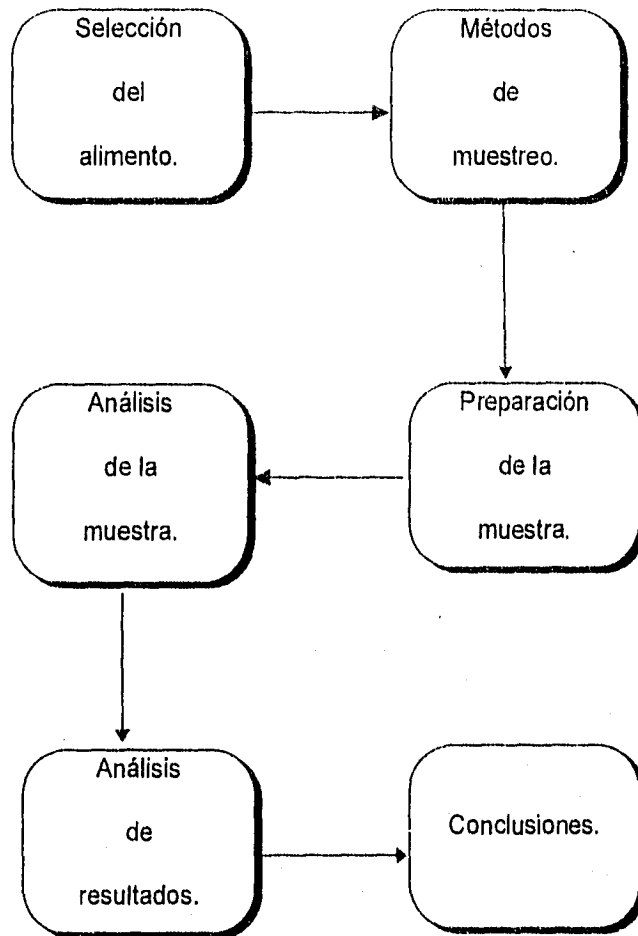
- + Digestión con HNO_3 conc.
- + Digestión con $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2$.
- + Digestión con HNO_3 y HClO_4 .
- + Digestión con HNO_3 , HClO_4 y H_2SO_4 .
- + Digestión vía seca.
- + Digestión por microondas.

De los procedimientos anteriores, el que se usó para esta tesis se encuentra dentro de la clase de digestiones húmedas, la digestión usada es la de HNO_3 concentrado (ésta se explicará con más detalle en el capítulo siguiente).

CAPÍTULO 3.

METODOLOGÍA

Diagrama 2. DIAGRAMA DE TRABAJO.



Selección del alimento:

Se seleccionaron 26 alimentos infantiles, los cuales se pueden clasificar en cuatro grandes grupos como son los alimentos hechos a base de jugos de frutas, de vegetales, de leche y de frutas. Estos alimentos fueron donados específicamente para este proyecto.

Métodos de muestreo:

El muestreo se hizo al azar (tratando que fuera lo más aleatorio y representativo posible), tomando de un lote de producción 10 muestras de cada variedad. Para el análisis se hizo un submuestreo, tomando dos muestras al azar de cada variedad y analizando por triplicado cada una. Siendo por lo tanto un estudio transversal descriptivo.

Preparación de la muestra:

Antes de medir la cantidad del metal en una muestra en particular, ésta debe ser digerida para liberar el metal bajo investigación. Los metales son liberados del alimento o matriz por combustión del alimento usando calor y ácido concentrado (digestión por vía húmeda). (27,28,29,30)

Como el interés es conocer los valores para definir los límites en una Norma Oficial Mexicana, se tiene que hacer uso de una técnica que se encuentre normalizada, que es la de Espectroscopia de Absorción Atómica con flama y una digestión por vía húmeda; que se encuentra contemplada en la norma (NOM-117-SSA1-1994), la cual fué usada para la preparación de la muestra.

Además, se escogió esta técnica también por ser más sensible, reproducible y rápida, y por contar con el equipo, material y reactivos. El método de digestión húmeda se encuentra detallado en el diagrama 3.

Análisis de la muestra:

La determinación de los metales pesados después de la digestión se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica con llama (Perkin Elmer mod. 3110). Las muestras analizadas para plomo y cadmio fueron corridas sin dilución adicional. Las muestras, blancos de reactivos y muestras fortificadas se corrieron bajo las mismas condiciones.

La espectroscopia de absorción atómica con llama convencional es caracterizado por la rapidez y la facilidad del análisis, y es fácilmente adaptable para análisis repetitivos de un número grande de muestras.

Las condiciones de trabajo que se usaron para cada metal se muestran a continuación, abarcando todos los factores necesarios para poder tener determinaciones adecuadas.

PLOMO:

Longitud de onda: 217 nm.

Lámpara de cátodo hueco para plomo

CADMIO:

Longitud de onda: 228.80 nm

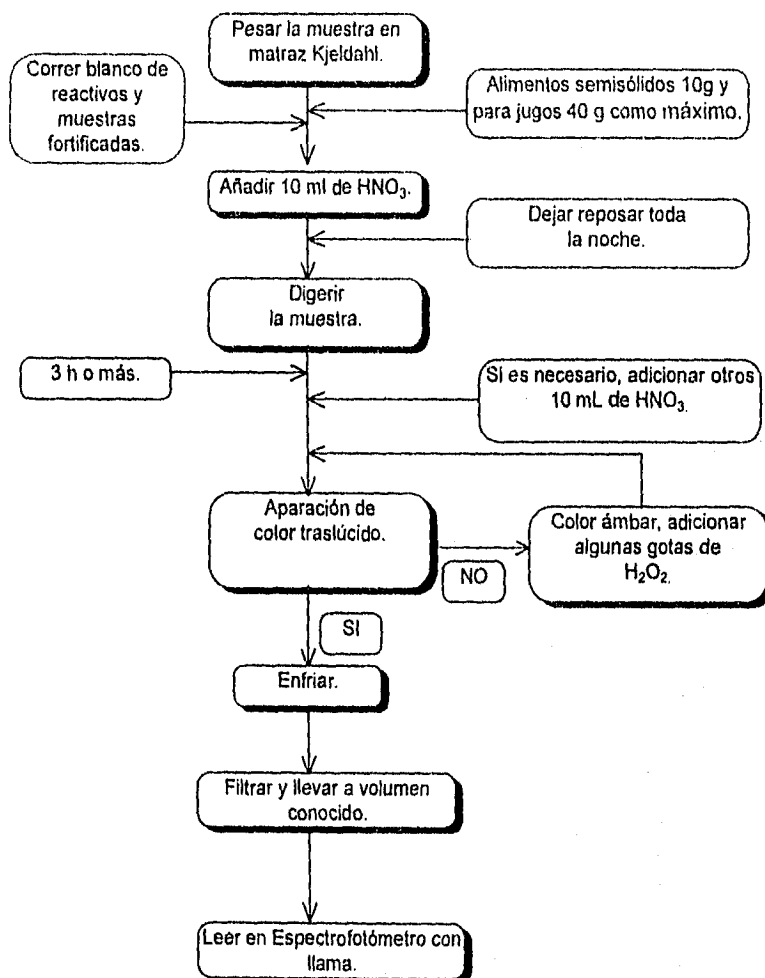
Lámpara de cátodo hueco para cadmio

Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 3110.

Llama de aire-acetileno, oxidante (fina y azul).

Sistema: Nebulizador-quemador, flujo laminar.

Diagrama 3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA
Digestión por vía húmeda para la determinación de Cd y Pb.
(NOM-117-SSA1-1994).



Análisis de resultados:

El análisis consiste en desarrollar un Análisis de Varianza (ANOVA) para cada metal con todos los valores obtenidos en la parte experimental, con este análisis podemos saber si el tipo de variedad del alimento interviene o tiene influencia en el contenido de los metales en estudio. Después de este análisis, se hizo una comparación por pares de medias, para saber que pares de medias presentan diferencia significativa entre ellas.

Además, para determinar si la variedad del alimento cumple o no con la legislación se usó el promedio obtenido de los resultados de las 6 réplicas por variedad.

CAPÍTULO 4.

RESULTADOS

Los resultados se pueden dividir en dos partes, la primera contiene las tablas de los resultados de los análisis químicos y la segunda parte es el análisis estadístico.

A) Análisis Químicos.

TABLA 4. Resultados de los productos a base de frutas

PRODUCTO	HUMEDAD (%)	PROTEÍNA (%)	CENIZAS (%)	PLOMO (ppm)	CADMIO (ppm)
Calabaza con jugo de naranja	85.75	0.2692	0.2947	N.D. ^{III}	< 0.05
Ciruela pasa	82.47	0.5164	0.1888	< 0.1	N.D.
Chabacanos	82.31	0.3666	0.4316	N.D.	N.D.
Duraznos	83.23	0.5641	0.2923	N.D.	< 0.05
Guayabas	81.74	0.2175	0.3378	N.D.	N.D.
Mangos	84.90	---	0.2257	< 0.1	< 0.05
Manzanas	84.08	0.1058	0.1440	N.D.	< 0.05
Peras y piña	81.48	0.0743	1.5713	N.D.	N.D.
Plátanos	81.51	0.0703	0.3181	< 0.1	< 0.05
Postre de fresa	82.25	0.2568	0.2140	0.1	N.D.
Papaya-guayaba	84.86	0.0759	0.1942	< 0.1	N.D.

TABLA 5. Resultados de los productos a base de leche.

PRODUCTO	HUMEDAD (%)	PROTEÍNA (%)	CENIZAS (%)	PLOMO (ppm)	CADMIO (ppm)
Fras. mixtas con yogurt	85.79	1.0071	0.5990	N.D.	N.D.
Mango con yogurt	83.24	0.8828	0.4617	0.2	N.D.
Budín de chocolate	82.01	3.3814	0.6282	N.D.	< 0.05
Postre de vainilla	82.99	2.1895	0.4270	< 0.1	N.D.

III N.D. = VALOR NO DETECTABLE

TABLA 6. Resultados de los productos a base de vegetales.

PRODUCTO	HUMEDAD (%)	PROTEÍNA (%)	CENIZAS (%)	PLOMO (ppm)	CADMIO (ppm)
Crema de espinacas	85.99	3.1260	0.3500	N.D. ^{III}	< 0.05
Pollo con vegetales	82.97	6.8291	1.1711	< 0.1	< 0.05
Sopa con pollo	87.24	3.6253	0.6824	< 0.1	< 0.05
Vegetales-carne de res	88.81	2.6459	0.4875	< 0.1	N.D.
Vegetales-jamón	89.69	3.0310	0.3810	N.D.	N.D.
Vegetales-ternera	89.07	2.7639	0.5216	< 0.1	N.D.

TABLA 7. Resultados de los productos a base de jugos de frutas.

PRODUCTO	HUMEDAD (%)	PROTEÍNA (%)	CENIZAS (%)	PLOMO (ppm)	CADMIO (ppm)
J. de frutas tropicales	89.68	0.6855	0.2170	< 0.1	N.D.
J. de manzana-cereza	88.96	0.2403	0.3807	N.D.	< 0.05
J. de naranja-zanahoria	90.21	0.7769	0.3982	N.D.	< 0.05
J. de pera	89.14	0.6443	0.2950	< 0.1	< 0.05
J. de uva	87.14	---	0.1745	N.D.	< 0.05

^{III} N.D. = VALOR NO DETECTABLE

Las réplicas por variedad de alimento fué de 6, haciendo un total de 156 análisis.

B) Análisis estadístico.

Análisis de Varianza de una vía para Cadmio

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	d.f.	SUMA DE CUADRADOS MEDIOS	Fo
Muestras	0.0674412	12	0.005620	352.610
Error	0.000350	22	0.000015	
Total (corregido)	0.0677918	34		

121 valores perdidos que fueron excluidos, debido a que muchos valores no pudieron ser detectados.

Nivel de confianza: 95

$F_{o\text{tabla}} = 2.045$

Análisis de Varianza de una vía para Plomo

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	d.f.	SUMA DE CUADRADOS MEDIOS	Fo
Muestras	0.1202381	16	0.0075149	35.170
Error	0.0083333	39	0.0002137	
Total (corregida)	0.1285714	55		

100 valores perdidos que fueron excluidos, debido a que muchos valores no pudieron ser detectados.

Nivel de confianza: 95

$F_{o\text{tabla}} = 1.831$

Para completar el análisis de varianza se realizó la prueba de rango múltiple de Duncan; ya que sabemos que las medias de los alimentos no son todos iguales, ahora necesitamos saber cuales alimentos presentan características similares en cuanto al comportamiento de sus medias lo que nos daría una idea de que grupo de los anteriores presentan una mayor posibilidad a estar contaminados por plomo y cadmio.

Análisis de Rango Múltiple de Duncan.

En el método de Duncan, las k medias de los tratamientos son ordenadas en forma ascendente y se determina el error estándar de cada promedio mediante la expresión:

$$Q_D = \sqrt{\frac{CM_{error}}{n}}$$

donde n es el tamaño de la muestra si el diseño es balanceado, o la media armónica de los tamaños de muestra si el diseño es desbalanceado.

La fórmula anterior me permite obtener lo que se denomina mínimo rango significativo (R_p), con lo que puedo realizar la comparación de medias y saber cuales son significativamente diferentes y cuales no son significativamente diferentes.

Se acostumbra resumir las conclusiones de los contrastes dibujando una línea bajo cualquier subconjunto de medias adyacentes que no son significativamente diferentes, por lo que tenemos:

- Para el cadmio se uso un nivel de confianza del 95% y los resultados son:

W X V Y I A P D F O N Q G

- Para el plomo también se usó un nivel de confianza del 95% y sus resultados son:

A Ñ D C I B W T K F X U Q J M L P

Cada letra corresponde a un alimento, el orden es el siguiente:

A	Calabaza con jugo de naranja.
B	Ciruela pasa.
C	Chabacanos.
D	Duraznos.
E	Guayabas.
F	Mangos.
G	Manzanas.
H	Peras y piña.
I	Plátanos.
J	Postre de fresa.
K	Papaya y guayaba
L	Frutas mixtas con yogurt.
M	Mango con yogurt.
N	Budín de chocolate.
Ñ	Postre de vainilla.
O	Crema de espinacas.
P	Pollo con vegetales.
Q	Sopa con pollo.
R	Vegetales y carne de res.
S	Vegetales y jamón.
T	Vegetales y ternera.
U	Jugo de frutas tropicales.
V	Jugo manzana-cereza.
W	Jugo de naranja-zanahoria.
X	Jugo de pera.
Y	Jugo de uva.

Para obtener la precisión, el límite de detección (3 X Desviación estándar) y el % recuperación; se realizó lecturas de placebos adicionados y de soluciones patrón de concentración conocida para cada metal y los resultados son los siguientes:

Para Cadmio:

Precisión (RSD): 1.803%
Límite de Detección ^a : 0.05814 mg/kg
Límite de Cuantificación: 0.2259 mg/kg
% Recuperación ^a : 101.61
Leído a 228.80 nm

Para Plomo:

Precisión (RSD): 6.42%
Límite de Detección ^a : 0.1352 mg/kg
Límite de Cuantificación: 0.5218 mg/kg
% Recuperación ^a : 98.96
Leído a 217 nm

^a Según la NOM-117-SSA1-1994.

Para poder comparar los valores obtenidos de los alimentos estudiados (Tablas 4,5,6 y 7) con las regulaciones internacionales y con el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana se realizó la tabla 8, con lo que nos podemos dar una idea que los valores están por debajo de estas reglamentaciones.

TABLA 8. Valores máximos permitidos para alimentos infantiles.

LEGISLACIÓN	PLOMO (mg/kg)	CADMIO (mg/kg)
Anteproyecto Norma Oficial Mexicana NOM-000-SSA1-1994	0.2	--
Statory Instruments (Inglaterra)	0.2	--
Swedish food regulations (Suecia)	0.2	--

En el CODEX ALIMENTARIUS se establece una ingesta semanal tolerable provisional de plomo de 0.05 mg/kg peso corporal, y para cadmio fijo la ingesta entre un rango que va desde 0.0067-0.0083 mg/kg peso corporal; siendo ambas dosis no aplicables, en general, a niños, FAO/OMS, 1988.

CAPÍTULO 5.
ANÁLISIS
DE RESULTADOS

Las tablas 4,5,6 y 7 muestran los resultados del contenido de humedad, proteína, cenizas, plomo y cadmio para cada alimento analizado; en los alimentos elaborados a base de frutas y jugos el contenido de proteínas es bajo comparado con los hechos a base de vegetales y leche que son los que presentan un contenido mayor a los anteriores. En general en todos los alimentos el contenido de humedad se encuentra entre un 80 a 90%. En sí, estos análisis adicionales solamente se hicieron más por curiosidad que por ser objetivo de la tesis.

Es de suma importancia resaltar que el contenido de plomo encontrado en los alimentos varía según la naturaleza de los mismos. Al comparar la concentración de plomo de los alimentos con el valor reportado en el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana (NOM-000-SSA1-1994) Alimentos envasados para lactantes y niños de corta edad, todos cumplen con dicha norma y con las normas internacionales de Suecia, Inglaterra y el CODEX ALIMENTARIUS.

El tratamiento estadístico realizado nos demuestra que, en el caso de plomo el origen del alimento es un factor que se debe tomar en cuenta como se especificó ya, en base a esto los alimentos tienden a presentar diferentes grados de contaminación con plomo. Por otro lado, también observamos que los alimentos hechos a base de frutas y vegetales tienden a agruparse, lo que nos demuestra que aquellos alimentos que su materia prima provienen de productos agrícolas presentan una mayor posibilidad a sufrir contaminación con plomo.

Para determinar el contenido de cadmio en los alimentos, se les dió el mismo tratamiento que para el análisis de plomo. De los resultados obtenidos se puede inferir que presentan también diferentes tendencias a sufrir la contaminación con cadmio, o sea, que los alimentos estudiados son significativamente diferentes unos de otros. Al realizar la prueba de Duncan se observó igualmente que los

alimentos hechos a base de frutas y vegetales tienden a agruparse, siendo estos los que a consideración propia contienen una concentración más alta de cadmio.

El único inconveniente de la aseveración anterior es que no se cuenta con una legislación que indique un límite máximo permisible para comparar los valores obtenidos, con lo que el análisis que podamos realizar sólo se limita a suposiciones.

Para completar lo anterior solamente podemos decir que se está trabajando por debajo del límite de cuantificación y del límite de detección, lo que nos puede traer algún tipo de ruido en nuestros resultados.

Con respecto al método, las ventajas que éste presenta es que nos permite trabajar con un gran número de muestras y es un método con el cual la liberación del metal (digestión) es completa, además, este tipo de digestión comparada con la digestión por vía seca presenta ventajas muy atractivas como son un mejor porcentaje de recuperación, una disminución de la volatilización de los metales, menor presencia de interferencias, y a nivel internacional se recomienda más junto con la digestión vía microondas.

En cuanto a la técnica usada y propuesta por la Norma Oficial Mexicana (NOM-117-SSA1-1994), se contempla el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica con llama este instrumento presenta características interesantes como son; límites de detección hasta centésimas de punto en ppm, es una técnica validada, las posibles interferencias que se pueden presentar se encuentran ampliamente estudiadas. Y al igual que el método, se caracteriza por la rapidez y facilidad del análisis, se puede trabajar con un gran número de muestras en poco tiempo, además de que, es altamente específico y reproducible.

CAPÍTULO 6.
CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llega contemplan varios aspectos, los cuales son: método de preparación de la muestra, técnica usada y resultados obtenidos.

- Es un método propuesto por la Norma Oficial Mexicana (NOM-117-SSA1-1994) Método de prueba para la determinación de Cadmio, Arsénico, Plomo, Estaño, Cobre, Hierro, Zinc y Mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica; con lo que se tiene la seguridad que el método se encuentra validado y normalizado. Este método nos permite trabajar con un gran número de muestras y que es un método sencillo y barato.
- La técnica empleada al igual que el método se encuentra validada y normalizada. Además, se caracteriza por la rapidez y facilidad del análisis. Las posibles interferencias se encuentran ampliamente estudiadas, por lo que son fácilmente superadas.
- Tanto la técnica como el método son buenos, pero es necesario el poder llevar a cabo estas determinaciones hasta concentraciones de ppb ($\mu\text{g}/\text{Kg}$). Debido a que en esta tesis se trabajo muy cercano al llmite de detección del equipo, 0.1 ppm para el plomo y de 0.05 ppm para el cadmio, lo que nos produce ruido en los resultados.
- La precisión y los % de recuperación del método son satisfactorios para el cadmio, y para el plomo solamente el % de recuperación es adecuado; mientras que, el valor de la precisión no entra dentro de lo especificado.

- En todos los alimentos analizados, las concentraciones de plomo que se encontraron están por debajo de las legislaciones internacionales y del anteproyecto de Norma Oficial Mexicana (NOM-000-SSA1-1994) Alimentos envasados para lactantes y niños de corta edad; ya que dicha regulación nos indica un límite máximo de 0.2 mg/Kg.
- La concentración de cadmio fue baja y en algunos casos no se detectó. Se puede sugerir un límite máximo de 0.15 mg/Kg de cadmio en base a que el CODEX ALIMENTARIUS establece una ingesta semanal provisional tolerable de 400 a 500 µg; pero teniendo en cuenta siempre que este valor propuesto debe de estar validado y apoyado por estudios toxicológicos en la población de interés.
- En base a los resultados obtenidos es necesario repetir el análisis, pero siguiendo la misma técnica y usando el mismo sistema de digestión, pero con una variante, el hacer una quelación del metal y extraerlo con disolventes orgánicos.
- Las modificaciones se proponen porque los valores obtenidos se encuentran muy cercanos al límite de detección y por debajo del límite de cuantificación, y esto nos provoca cierto ruido en los resultados. Por lo que es necesario el usar tanto métodos como técnicas que nos den lecturas en concentraciones de hasta ppb (µg/Kg).

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se pueden hacer son las siguientes:

- Es necesario que se realice un mayor esfuerzo por legislar la concentración máxima permitida en los alimentos infantiles envasados, y que éste se vea apoyado por trabajos de investigación multidisciplinarios para poder ubicar los límites de la legislación en valores reales y acordes a nuestro entorno nacional. El anteproyecto de Norma Oficial Mexicana (NOM-000-SSA1-1994), Alimentos envasados para lactantes y niños de corta edad, es analizado por la Secretaría de Salud, las empresas productoras de estos alimentos, la Secretaría de Comercio, y a veces se invita a participar a investigadores de la U.N.A.M. o del I.P.N. que son expertos en las áreas de control fisicoquímico, analítico y microbiológico.
- A pesar de que los alimentos analizados se encuentran por debajo de los valores sugeridos en las legislaciones, es necesario el analizar las posibles fuentes de contaminación de aquellos alimentos que dieron indicios de estar contaminados, y de ser posible el poder eliminar o controlar estas fuentes.
- Se debe proponer un límite máximo de plomo y de cadmio a la materia prima, ya que muchas veces la planta industrializadora de estos alimentos no es la culpable del contenido de los metales en sus productos sino que hay ocasiones que las altas concentraciones provienen de la materia prima, con lo que es necesario poner un límite máximo también a la materia prima para así poder distribuir responsabilidades. Logrando así el tener una legislación más completa y justa para las partes involucradas en la producción de estos alimentos. Además, también es necesario el que se considere el limitar el contenido de otros metales como son el mercurio, el arsénico y el cromo.

- Se deben usar instrumentos y métodos más sensibles, con lo que podremos aumentar la detección hasta concentraciones de ppb ($\mu\text{g}/\text{Kg}$). Dentro de los instrumentos tenemos el uso de absorción atómica con horno de grafito, polarografía, voltimetría de separación anódica, plasma de acoplamiento inductivo y plasma de corriente directa; y dentro de los métodos, tal vez, el más usado es la quelación y extracción con disolvente orgánico.

ANEXOS

Anexo 1. Ley de Lambert-Beer.

Los métodos cuantitativos basados en la absorción de la radiación electromagnética, involucran mediciones de la reducción en la intensidad de la radiación al pasar a través de un medio absorbente, *i.e. la muestra*. El grado de absorción es determinado por la comparación de la intensidad del rayo (haz) transmitido cuando no hay especies absorbentes presentes, *i.e. un blanco*, con el transmitido por la muestra.

La reducción en la intensidad de la radiación incidente puede ser relacionada a la concentración de las especies absorbentes y al espesor del medio absorbente.

La ley de Lambert involucra al espesor de un medio absorbente; rangos sucesivos de espesores iguales absorben fracciones iguales de una radiación monocromática incidente. Esto nos da un decremento exponencial en la intensidad de la radiación.

$$I = I_0 e^{-k \cdot l}$$

donde:

I = intensidad transmitida

I_0 = intensidad incidente

l = espesor del medio absorbente

k = constante determinado por la longitud de onda de la radiación y la naturaleza de la muestra.

usando arreglos matemáticos nos queda:

$$\log_{10} (I_0/I) = k'l$$

La ley de Beer sigue un camino similar con la concentración (C) de una especie absorbente y nos da la relación:

$$\log_{10} (I_0/I) = k''C$$

Combinando ambas ecuaciones nos da la ley de Lambert-Beer que se expresa en la forma:

$$\log_{10} (I_0/I) = A = \epsilon \cdot C \cdot l$$

donde:

A = Absorbancia

C = concentración de la especie absorbente

ϵ = coeficiente de absorción molar (absorbancia de una solución 1 M en una celda de un 1 cm)

Anexo 2. Componentes básicos de un espectrofotómetro de AA.

Fuente de radiación:

Los átomos absorben radiación a longitudes de ondas específicas, para medir esta absorción es necesario emplear una fuente de radiación que emita las longitudes de onda específicas para el elemento a cuantificar, el empleo de este tipo de fuente provee al método de alta sensibilidad y lo convierte en una técnica analítica específica con un mínimo de interferencias, las fuentes más empleadas son: lámpara de cátodo hueco (HCL), lámpara de descarga sin electrodos (EDL), lámpara de gradiente de temperatura (TGL).

Celdas para la muestra:

Las celdas empleadas en AA tienen dos objetivos, uno de ellos es convertir las muestras poliatómicas en átomos libres en su estado basal y el otro es mantener la concentración de átomos constante el tiempo suficiente para detectar y registrar el valor de la radiación absorbida por estos átomos. En AA se manejan dos tipos de celdas: celdas sin calentamiento (generador de vapor frío para Hg y generador de hidruros), y las celdas con calentamiento (llama, sistema nebulizador-quemador; y horno de grafito).

Sistema óptico:

La función del sistema óptico es seleccionar y aislar una determinada línea de resonancia que ha pasado a través de la muestra y debe ser dirigida hacia el detector, con ayuda de las partes electrónicas la señal es transformada a un valor de absorbancia o de concentración.

Anexo 3. Terminología usada en Espectroscopia de Absorción Atómica.

Sensitividad:

Es definida como la concentración de una solución (en ppm) de un elemento, necesaria para producir una señal de 0.0044 unidades de absorbancia. Esto equivale a un decremento de un 1% en la radiación transmitida. La figura de sensibilidad es un índice útil de ejecución que le da información al analista de que tan bien el instrumento ha sido optimizado.

Límite de Detección:

Se define como la concentración más baja de un elemento en solución, el cual puede ser detectado con un 95% de certeza. Es por lo tanto la concentración a la cual producirá una deflexión igual a 3 veces la desviación estándar (S) de una serie de lecturas (normalmente 10). El límite de detección puede ser determinado directamente de la gráfica de calibración construida usando una técnica de regresión. En este caso el valor para la intercepción de un blanco adicionado en el eje de la absorbancia es multiplicado por 3 veces la desviación estándar obtenida por dicho blanco. El valor calculado es entonces interpolado de la gráfica de calibración para obtener el límite de detección.

Precisión:

La precisión de un análisis es definido en términos de la desviación estándar relativa en por ciento (RSD). La S puede ser calculada fácilmente siguiendo una serie de mediciones discretas de absorbancias o de concentraciones. La RSD es entonces definida como la S expresada como un por ciento de la media de datos usados para calcular la S. Otro nombre de la RSD es lo que se conoce como el coeficiente de variabilidad.

Anexo 4. Interferencias que existen en EAA.

Las interferencias se clasifican en químicas y físicas, dentro de las primeras tenemos:

Interferencias químicas o de formación de compuestos estables:

Éstas son con mucho la interferencia más frecuentemente encontrada en EAA. Básicamente, una interferencia química puede definirse como cualquier cosa que evita la formación de átomos gaseosos en estado basal en la llama, *i.e.* la interferencia debida a la formación de aluminatos, silicatos y fosfatos. Hay dos técnicas para superar esta interferencia, una química, que consiste en la adición de quelatos (que pueden acomplejar al catión o al anión), y la otra es el uso de llamas de altas temperaturas como lo es la de óxido nitroso/acetileno (la que simplemente descompone térmicamente la muestra).

Interferencia por ionización:

Para entender esta interferencia, es necesario saber lo que ocurre en la llama durante la aspiración de la muestra. La llama se usa como una fuente de energía para convertir elementos presentes en la solución vaporizada, creada por el nebulizador, a átomos en estado basal. Muchas determinaciones requieren el uso de llamas de óxido nitroso/acetileno y es bajo estas condiciones que las interferencias de ionización ocurren. Ellas aparecen por la naturaleza energética de la llama que además de producir átomos en estado basal, también excitan algunos átomos a tal extensión, que uno o más electrones se pierden y la ionización ocurre, disminuyendo la sensibilidad. La interferencia se supera adicionando un segundo elemento de fácil ionización en alta concentración a las muestras y a los estándares, de tal manera que el equilibrio para ambos se desplaza hacia el estado atómico aumentando la respuesta del elemento de interés.

Dentro de las interferencias físicas tenemos:

Interferencia espectral:

En AAS la interferencia espectral es poco común en la actualidad, debido al mejoramiento en las técnicas de purificación de los cátodos. En el pasado eran experiencias típicas si, en una solución dada, el elemento A existente era determinado en presencia del elemento B. Si la fuente contenía ambos elementos y las líneas de absorción de estos no podían ser separadas por el monocromador (las dos líneas de resonancia para los dos diferentes elementos tienen valores muy parecidos), el elemento B causaba interferencia. Esta interferencia se elimina cambiando a una línea de absorción alterna.

Interferencia por matriz:

La interferencia por matriz se presenta cuando la absorbancia registrada por la muestra y por la solución patrón no se correlacionan por efecto de las siguientes situaciones:

1) Realce de sensibilidad debido a la presencia de un solvente orgánico en la solución acuosa; 2) depresión de la sensibilidad debido a que la muestra tiene mayor viscosidad que la solución estándar; y 3) depresión del resultado debido al alto contenido de sales. Estas interferencias pueden ser rápidamente superadas por el uso de las siguientes técnicas: 1) el método de adiciones estándar; 2) adaptación o igualar la matriz de los estándares a la matriz de la muestra problema; 3) remover el catión a ser determinado de la matriz interferida por solventes o intercambio iónico; y 4) relacionar el valor erróneo obtenido para un valor exacto usando un factor determinado por otras medidas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Santos Díaz, M.D.; Cirugeda Delgado, C.; Cirugeda Delgado, M.E. Estudio del contenido de plomo y cadmio en alimentos infantiles pre-cocidos (potitos). *Alimentaria* 1989, Noviembre, 55-56.
2. Martínez Galindo, J.M. Contaminación de alimentos por metales pesados. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM. 1979.
3. Hernández del Castillo, C. Determinación de plomo en alimentos infantiles industrializados. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM. 1987.
4. Scarlett-Kranz, J.M., y al. Survey of nitrate, cadmium and selenium in baby foods - Health considerations-. *J. Food Saf.* 1986, 8, 1, Enero, 35-36.
5. Walpole, R.E. Probabilidad y estadística para ingenieros. 3a. edición, Edt. McGraw-Hill, México, 1991.
6. Montgomery C., Douglas. *Design and Analysis of Experiments*. 3a. edición, Edt. John Wiley & Sons, Singapore (Malasia) 1991.
7. Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, NOM-000-SSA1-1994, Alimentos envasados para lactantes y niños de corta edad.
8. Proyecto de Norma Oficial Mexicana, NOM-117-SSA1-1994, Método de prueba para la determinación de Cadmio, Arsénico, Plomo, Estaño, Cobre, Hierro, Zinc y Mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica.
9. Hernández Avila, Mauricio; Espinosa Torres, Felipe; López Carrillo, Lizbeth. Periódico *La Jornada (Ecológica)*. Año 3, No. 34, Miércoles 22 de Febrero de 1995, México, D.F.

10. Sigel, Helmut. **Metal Ions in Biological Systems. Concepts on Metal Ion Toxicity**. Vol.20, Edt. Marcel Dekker, Inc., EE.UU. , 1986.
11. H. Willard, Hobart. **Métodos Instrumentales de Análisis**. Edt. Iberoamérica, México (1991).
12. Valle Vega, Pedro. **Toxicología de Alimentos**. Edt. Organización Mundial de la Salud (OMS), México (1986).
13. Feinberg, Max; Ducauze, Christian. **High Temperature Dry Ashing of Foods for Atomic Absorption Spectrometric. Determination of Lead, Cadmium, and Copper**. Anal. Chem. 1980, 52, 207-209.
14. Torres Pérez, Ma. del Carmen. **Determinación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en leche preferente de la Cd. de México**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM. 1994.
15. Maya Coronilla, Irene. **Evaluación de niveles de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn y Fe) en alfalfa (Medicago Sativa) y en leche de vaca, en distrito de riego No. 063 en el Valle del Mezquital, Hidalgo**. Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM.
16. Pérez Vega, Armando. **Evaluación de los niveles de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn y Fe) en aguas residuales y suelos de cultivo en el distrito de riego No. 063 en el Valle del Mezquital, Hidalgo**. Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM. 1993.
17. Derache, R. **Toxicología y Seguridad de los Alimentos**. Edt. Omega, S.A., Barcelona (España) 1990.

18. Vieites Baptista de Sousa, J.; López Goyanes, A. **Plomo y Cadmio en productos derivados de la pesca. Métodos de destrucción de la materia orgánica y otros aspectos.** Alimentaria 1992, Marzo, 49-55
19. Cirugeda Delgado, C.; Santos Díaz, M.D.; Cirugeda Delgado, M.E. **Estudio del contenido de Plomo y Cadmio en alimentos básicos III: Hígado de vaca, cerdo y pollo.** Alimentaria 1988, Septiembre, 12-14.
20. Cirugeda Delgado, C.; Santos Díaz, M.D.; Cirugeda Delgado, M.E. **Niveles de Cadmio y Mercurio en diversos tipos de quesos.** Alimentaria 1991, Octubre, 53-54.
21. Reilly, Conor. **Metal Contamination of Food.** Edt. Applied Science Publishers LTD. Londres (Inglaterra) 1980.
22. P. Parker, Sybil. **Spectroscopy Source Book.** Edt. McGraw-Hill Book Company. 1988.
23. F. W. Fifield; D. Kealey. **Principles and Practice of Analytical Chemistry.** 3th. Edt. Blackie and Son Ltd. Escocia (Inglaterra) 1990.
24. Díaz-Barriga, Fernando. **Principios de la toxicidad del cadmio.** Rev. Ciencia y Desarrollo, Conacyt, Mayo-Junio, 1991, Vol. XVII, No. 98, 61-68.
25. Castillo Granada, A. Lourdes; Arteaga Mejía, Maricela; Castillo González, Miguel. **Fundamentos y aplicaciones de la Absorción Atómica.** U.N.A.M FES - Zaragoza, 1993.
26. S.J. Haswell. **Atomic Absorption Spectrometry. Theory, Design and Applications.** Analytical Spectroscopy Library, Vol.5, Edit. Elsevier, 1991.

27. Mc.Carthy, Helen T. y Ellis, Christopher. **Comparison of Microwave Digestion with Conventional Wet Ashing and Dry Ashing Digestion for Analysis of Lead, Cadmium, Chromium, Copper, and Zinc in Shellfish by Flame Atomic Absorption Spectroscopy.** J. of AOAC, 1991, 74 (3), 566-569.
28. Corradini, Fulvio et al. **Analysis of Heavy Metals in Aceto Balsamico Tradizionale di Modena by Flame Atomic Absorption Spectroscopy.** J. of AOAC, 1994, 77 (3), 714-717.
29. Preer, James et al. **Sample Preparation in Determination of Lead in Garden Vegetables by Flame Atomic Absorption Spectrophotometry.** J. of AOAC, 1982, 65 (4), 1010-1015.
30. Preston Miles, J. **Analytical Methods Used by Industry for Lead in Infant Formula.** J. of AOAC, 1982, 65 (4), 1016-1024.
31. Whitaker, J.R. **Modern methods of food analysis.** Edit. AVI, U.S.A., 1984.
32. Quintín Olascoaga, José. **Dietética. Nutrición Normal.** Edit. Mendez Editores, S.A de C.V. México, D.F.