



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

CONCENTRACION DE TRAZAS DE METALES (Cd, Cr, Pb y Hg) EN OSTIONES

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Q U I M I C A
P R E S E N T A
PRADO RUEDA JESSICA



MEXICO, D.F.



2005

EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA

m. 347346



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 Profesora Liliana Saldívar y Osorio

---

Vocal Profesor Francisco Rojo Callejas

---

Secretario Profesor Ma. Elena Castilla Madrigal

---

1 er. Sup. Profesora Araceli Tovar Tovar

---

2do. Sup. Profesor Luis Antonio Ortiz Frade

---

Sitio donde se desarrolló el tema:

División de Estudios de Posgrado.  
Departamento de Química Analítica.  
Laboratorio 103

Nombre del asesor:

Dra. Liliana Saldívar y Osorio

  
Firma

Nombre del sustentante:

Jessica Prado Rueda

  
Firma

INDICE	Página
Capitulo I. Introducción	1
Capitulo II. Objetivo	2
Capitulo III. Antecedentes	3
a) EL AGUA	3
El agua como un componente del ambiente	3
Elementos que deterioran la vida acuática	4
Problemática	7
Lagunas costeras	8
b) OSTIONES	9
Características de los ostiones ( <i>Crassostrea virginica</i> )	9
Anatomía de los ostiones ( <i>Crassostrea virginica</i> )	10
Desarrollo larvario	12
Hábitat	12
Composición de los ostiones	14
Investigaciones realizadas en ostiones	15
Capitulo IV Toxicidad de los metales	17
a) Mercurio (Hg) Características	17
Comportamiento en el medio ambiente	19
Efectos característicos	21
Estudios realizados	22
b) Cadmio (Cd) Características	23
Comportamiento en el medio ambiente	23
Efectos característicos	26
Estudios realizados	27
c) Plomo (Pb) Características	28
Efectos característicos	31
d) Cromo (Cr) Características	33
Efectos característicos	34


 TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Comportamiento en el medio ambiente	36
Capitulo V. Método de estudio.	38
Absorción en resinas	38
Espectroscopia atómica	39
Espectrometría de absorción atómica con flama	41
Espectrometría de absorción atómica por vapor frío	42
Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros	43
Espectrometría de absorción atómica sin flama (horno de grafito)	45
Funcionamiento del equipo. La flama	45
Consideraciones ópticas	47
Sistema de fotodetector, amplificador y lectura	50
Intervalo Lineal	52
Interferencias	53
Adiciones patrón	54
Capitulo VI. Parte Experimental	55
Desarrollo de la metodología	56
Capitulo VII. Resultados	61
Pruebas preliminares	61
Resultados del trabajo experimental de Cr	68
Pb	72
Hg	76
Porcentaje de recuperación de Cr	80
Pb	81
Hg	82
Capitulo VIII. Análisis de Resultados	83
Capitulo IX. Conclusiones	87
Capitulo IX. Glosario	89
Capitulo X. Bibliografía	92

## Capítulo I.

# INTRODUCCIÓN

En la actualidad los elementos o sustancias que afectan mayormente la vida acuática son sólidos suspendidos, sustancias químicas orgánicas (insecticidas, materia orgánica biodegradable, etc.) y constituyentes inorgánicos. Provocando así una gran contaminación de ríos, lagos y mares.

Los estudios realizados en moluscos muestran que tienen una gran capacidad de utilidad como organismo bio – indicador, es decir, son señales químicas presentes en los organismos que pueden ser identificables molecularmente por los investigadores para brindar información (temprana) sobre los cambios que ocurren en los fluidos corporales, en las células o en tejidos, por algún agente externo, como los metales pesados. Los moluscos como la almeja y el ostión, presentan elevados índices de metales pesados que constituyen un riesgo potencial para la salud de los consumidores.

Es de vital importancia realizar un seguimiento sobre la contaminación de los ostiones comerciales, con la finalidad de contar con información valiosa para estimar el riesgo potencial que puede representar el consumo de este producto humano.

## **Capítulo II**

### **Objetivo**

Este proyecto tiene por objetivo cuantificar trazas de metales (Hg, Cd, Pb, Cr) en ostiones mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica. Desarrollar una metodología apropiada para la determinación de los metales en ostiones, desarrollar el procedimiento para tratar las muestras adecuadamente y aprender el manejo del espectrofotómetro de absorción atómica para una determinación correcta de metales en las muestras de ostiones.

## Capítulo III.

### Antecedentes

#### A) El agua

#### El agua un componente del ambiente

El agua cubre las dos terceras partes de la tierra y junto con el suelo y el aire, forman los tres “elementos” o esferas más importantes del Planeta. En estos estratos, se encuentra una gran diversidad de ecosistemas, en los cuales se alojan un sin número de especies. Dentro del ambiente marino se albergan el mayor número de especies del planeta, por lo que cualquier cambio físico o químico que se presente en él repercute en los organismos marinos, terrestres y en el hombre mismo<sup>34</sup>.



Figura 1 Planeta



Figura 2 Río

## Elementos que deterioran la vida acuática

Los progresos industriales han sido cada vez mayores, provocando una acumulación de sustancias tóxicas en el medio ambiente.

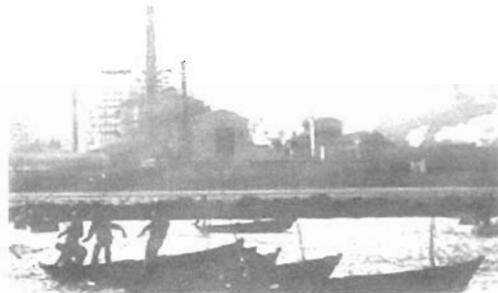


Fig. 3 Contaminación

En la actualidad los elementos o sustancias que afectan mayormente la vida acuática, cuando rebasan la normatividad, son los siguientes:

1) Los sólidos suspendidos<sup>12</sup>: pueden ser los suelos que arrastra la lluvia desde las zonas deforestadas o de cultivo, o bien, los sólidos contenidos en aguas residuales de origen urbano sin tratar. Estos sólidos pueden constituirse en depósitos de fango y provocar la reducción de los volúmenes de agua y/o disminuir las proporciones de oxígeno.

2) Las sustancias químicas orgánicas<sup>28</sup>: están contenidas en cantidades variables de productos comerciales de consumo habitual. Algunos de dichos productos contienen sustancias tóxicas. La presencia de dichas sustancias demanda atención de los organismos reguladores de agua potable; las que más comúnmente se encuentran en los cuerpos de agua son:

- **Materia orgánica biodegradable**: está compuesta por proteínas, carbohidratos y grasas. Su presencia se mide en forma de DBO, es decir, en función de la demanda bioquímica de oxígeno. Si esta materia

orgánica se vierte sin tratar, su estabilización biológica puede producir el agotamiento de oxígeno en el agua y el desarrollo de condiciones sépticas.

- **Materia orgánica refractaria:** está constituida por compuestos que tienden a permanecer en el medio, a pesar de los métodos convencionales de depuración de aguas residuales.
- **Compuestos orgánicos volátiles (VOCs):** contienen compuestos químicos derivados del carbono. Están presentes en muchos productos comerciales: gasolina, pinturas, adhesivos, disolventes, productos de limpieza en seco, pesticidas y fertilizantes. Se les encuentra en donde hay procesos de combustión como son los tiraderos de basura, las emisiones de aceite crudo y refinado, la quema de siembras, la operación de lanchas de motor, etc. Son comunes en aguas subterráneas de zonas urbanas, y la mayoría de ellos son tóxicos.
- **Insecticidas organoclorados:** son los primeros que salieron al mercado. Entre ellos están: DDT, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Lindano, Heptacloro, Bifenilos. Algunos de ellos, como el DDT<sup>2</sup>, han sido prohibidos en muchos países por sus comprobadas repercusiones ambientales.
- **Insecticidas organofosforados:** son los más tóxicos. Sustancias como el Parathión están catalogados como venenos supertóxicos. Se sospecha que la ingesta de productos como éste en cantidades mayores a 5 mg/Kg, acompañadas de arsénico, es letal para el ser humano.
- **Nutrientes:** los componen el nitrógeno, el fósforo y el carbono. Son esenciales para el crecimiento; aunque poco tóxicos, requieren de monitoreo. Cuando se depositan en el medio acuático acarrear el desarrollo de organismos indeseables. Al utilizarse en cantidades excesivas en el medio terrestre, pueden contaminar el agua subterránea,

que posteriormente llega a los cuerpos receptores. La proporción de residuos biológicos del lago de Pátzcuaro es alta, aunque a diferencia de otros contaminantes es más factible su remediación.

Algunas de las principales fuentes de nitrógeno y fósforo son las descargas de aguas residuales de origen doméstico, abonos y fertilizantes agrícolas así como tiraderos de basura. Los nitratos y los fosfatos son los principales nutrientes que se agregan a los lagos. En altas concentraciones los nitratos pueden llegar a ser tóxicos. La máxima cantidad permisible de nitratos en el agua para consumo humano es de 10 mg/L. Los organofosfatos son sumamente tóxicos entre los mamíferos, aunque tienen la ventaja de que no se acumulan en los tejidos grasos.

- Patógenos: los organismos patógenos pueden transmitir enfermedades a través del agua. Los que se observan más comúnmente en las aguas residuales municipales y que son vertidos hacia los lagos son los virus giardia lamblia y bacterias.

3) Constituyentes inorgánicos o metales pesados<sup>12</sup>: son conservantes, es decir, no se degradan con el tiempo. Se caracterizan por ser solubles en agua. Pueden ser absorbidos por las plantas y tejidos animales. Una vez absorbidos por los organismos vivos se combinan con las proteínas y ácidos nucleicos, dañando sus funciones. Algunos de los metales tóxicos y persistentes más comunes son el plomo, el cadmio, el arsénico y el mercurio.

## Problemática

En la actualidad ha llamado la atención el efecto de trazas de algunos de los metales sobre el metabolismo de los seres vivos.

Debido a que existe una gran contaminación de ríos, lagos y mares es de vital importancia realizar un seguimiento sobre la contaminación de los ostiones comerciales, con la finalidad de contar con información valiosa para estimar el riesgo potencial que puede representar el consumir ostiones.



Fig. 4 Ostiones comestibles

La contaminación de los peces y otros organismos marinos puede causarse por diversas vías: 1) Se puede llevar a cabo a través de la membrana branquial o 2) Por la vía digestiva, en donde los contaminantes pasan por la ingestión de agua y alimento, entrando al sistema circulatorio y diseminándose a todos los órganos y tejidos.

Los organismos bentónicos en las aguas costeras se encuentran representados principalmente por los moluscos bivalvos cuya alimentación es a través de filtración, lo cual les permite la acumulación de los metales pero no su eliminación<sup>11,18</sup>.

## Lagunas costeras

Las lagunas costeras se encuentran prácticamente en todos los continentes y en diferentes latitudes y su conexión con el mar y los ríos mantienen una gran influencia en la dinámica de las lagunas. El aporte de nutrientes, elementos traza y otros componentes provenientes de reservorios continentales se movilizan por los procesos o cambios climáticos, por los procesos biológicos, actividades humanas y sedimentación, provocando cambios morfológicos de una manera creciente<sup>5,11</sup>.



Fig. 5 Laguna

Las lagunas costeras son altamente vulnerables a los cambios provocados por las actividades antropogénicas, tales como los procesos de dragado y relleno que producen turbulencias, causando el abatimiento del oxígeno disuelto y disminución en la penetración de la luz. De manera similar ocurre con la construcción de presas y diques que eliminan o disminuyen el aporte de agua dulce, lo que provoca el aumento en la salinidad y, finalmente, el aporte de fertilizantes y detergentes causantes de la eutroficación de lagunas y ríos. Por estudios previos realizados por Neff<sup>29</sup> (1979), Castro<sup>11</sup> (1981), Becerra<sup>5</sup> (1984), Wade y col<sup>40</sup> (1989), González<sup>20</sup> (1990), Botello y col<sup>7</sup> (1998), Noreña y col<sup>31</sup> (1999), Trickleban<sup>37</sup> (2000) y

Calderón y col<sup>10</sup> (2001), se sabe que los contaminantes como son metales pesados, plaguicidas y todo tipo de hidrocarburos (tanto aromáticos como alifáticos), pueden tener efectos letales o tóxicos en los organismos, quedando anualmente eliminadas numerosas especies acuáticas y causando un grave desequilibrio ecológico.

## B) OSTIONES

### Características de los ostiones (*Crassostrea virginica*)



Fig. 6 Ostión

El ostión *Crassostrea virginica* es uno de los invertebrados de estuarios que aporta mayores beneficios al país como productos pesqueros. Esta especie se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de las costas en el océano Atlántico. En nuestro país, se encuentran localizados en las lagunas costeras del Golfo de México y del Caribe. Al noroeste del país, se encuentra una pesquería que comienza en la ciudad de Tuxpan en el estado de Veracruz y que termina al sur de Tamaulipas. Esta pesquería abarca las lagunas de Pueblo Viejo, Tamiahua y Tapamachoco. Al sureste de Tabasco se encuentra otra zona pesquera que comprende a la Laguna de Machona, la del Carmen y la de Mecoacán y en el estado de Campeche, la Laguna de Términos<sup>5,25</sup>. En la actualidad se considera que la zona ostrícola del estado de Veracruz, mantiene

unos 3,056 pescadores ostrícolas (aporta más de 90% de la producción nacional de ostiones y camarones)<sup>6</sup>. En la Tabla 1 se comparan los valores de producción (toneladas) de diferentes productos pesqueros para abril 2004. La producción de ostiones fue equivalente al 11% de la producción pesquera para ese año. Lo que indica un factor económico importante para la población pesquera; desde el punto de vista de salud pública, puede llegar a ser un factor de riesgo para los consumidores en caso de estar contaminados.

Tabla 1 Producción pesquera en peso desembarcado según principales especies<sup>36</sup>.

Principales especies	Toneladas	% Respecto al total nacional
Mojarra	23,404	17
<b>Ostión</b>	<b>16,729</b>	<b>10.87</b>
Lebrancha	6,746	4.97
Jaiba	5,317	3.92
Carpa	4,179	3.08
Peto	3,159	2.33
Jurel	3,130	2.31
Sierra	4,890	2.24
Trucha	2,994	2.21
Otras especies*	69,348	NA
Total	135,745	

NOTA: El peso desembarcado se refiere al que conserva el producto y se declara en el momento de desembarque, en sus diversas modalidades: descabezado, fileteado, desviscerado, rebanado u otras.

a\*= incluye otras especies sin registro oficial

NA= no aplicable.

## Anatomía de los ostiones *Crassostrea virginica*

Los ostiones se encuentran constituidos por una concha formada por dos valvas (Figura 7) las cuales se encuentran unidas de extremo a extremo mediante un ligamento. La superficie interna de cada valva generalmente es

blanca y lisa. Los bivalvos o moluscos con concha dividida en dos valvas, son conocidos con diversos nombres populares como almejas, ostras, ostiones y demás. Hay más de 8 000 especies. Son normalmente un alimento de lujo sobre el cual existe el mito de que mejora la capacidad sexual.



Fig. 7 Anatomía de los ostiones.

La superficie interna de cada valva la reviste el manto, tejido que envuelve a todos los órganos excepto el músculo aductor, el borde está arreglado en tres pliegues; las células especializadas de este tejido secretan las diferentes capas de la concha y del ligamento chamelar. El manto interviene en el proceso de respiración, controlando el flujo del agua que pasa a través de las branquias. Su aparato respiratorio está estructurado por las branquias de forma laminar que son bañadas por el agua, de la que fijan el oxígeno y luego desprenden el bióxido de carbono que sale en el agua que el animal expulsa. Las cuatro branquias se encuentran formadas por filamentos y en constante movimiento, lo cual produce una corriente de agua que pasa a través de las mismas. Tanto filamentos branquiales, como sus células, secretan mucus que atrapa las partículas alimenticias acarreándolas hacia la boca<sup>7,8</sup>. Arriba del músculo, se localiza el corazón, que se encarga de bombear la sangre (incolora). Su sistema nervioso es completo y tiene un corazón formado por un solo ventrículo. Además, el ostión tiene dos tubos llamados “sifones” que se encargan de hacer circular el agua dentro de la concha del molusco.

## Desarrollo larvario

Esta especie no incuba sus huevecillos, es ovípara, es decir libera sus gametos sexuales en el agua, donde se realiza la fecundación. En los ostiones los sexos se encuentran separados; sin embargo, se puede presentar el hermafroditismo<sup>1,5,8</sup>.



Fig. 8 Campo de cultivo.

Pasando 3 o 4 horas de haberse realizado la fertilización de los huevecillos, se desarrolla una larva trocófora en un período de 24 a 36 horas pasando rápidamente a un estado umbonado denominado estado de veliger. La larva permanecerá en el plancton de 2 a 3 semanas antes de que comience la metamorfosis. La larva se fija en sustratos adecuados mediante un pie rudimentario convirtiéndose de esta manera en un organismo bentónico sedentario<sup>5,8</sup>.

## Hábitat

Entre los productos pesqueros que ocupan un lugar importante se encuentra el ostión que habita tanto en el mar como en aquellas zonas litorales donde se mezclan aguas saladas y dulces, ya sean en desembocaduras de río o lagunas costeras<sup>5</sup>. Su lugar característico de desarrollo es en la desembocadura de ríos, lagos y esteros.

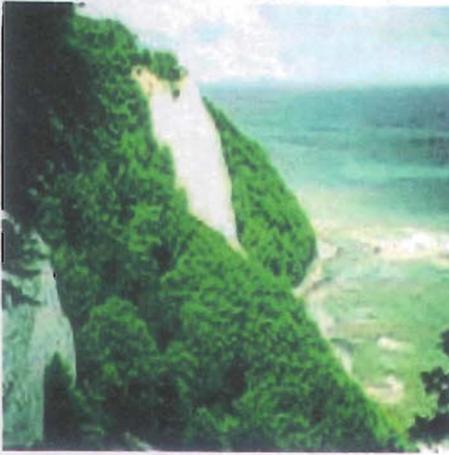


Fig. 9 y 10. Manglares

Los ostiones que habitan en las secciones inferiores sobre las raíces del mangle se encuentran en las mejores condiciones nutricionales. Los factores ambientales que favorecen su desarrollo óptimo son: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, valor de pH y turbiedad. También cabe señalar la sedimentación, la depredación y la contaminación por diversos agentes. La temperatura es uno de los factores que más influencia presenta sobre la reproducción, desarrollo y crecimiento de los ostiones. Los valores de temperatura tanto en el desove como en el desarrollo son de 20 a 32° C, además, la temperatura controla la cantidad de agua filtrada, la respiración y el estado larvario, por lo que se considera una limitante para el crecimiento de los mismos.

Otro factor de extrema importancia para los ostiones es la salinidad, ya que por arriba del 21% las larvas no logran fijarse, mientras que para salinidad superiores del 32% también se ven afectadas. La turbidez del agua interfiere con los procesos fisiológicos como son la alimentación y la respiración provocándoles la muerte<sup>5</sup>.

## Composición de los ostiones

La composición química de la porción comestible de *C. corteziensis* es: humedad, 83.6%; minerales, 3.0%; proteínas, 7.3%; grasas, 1.7%; carbohidratos, 4.5%; calcio, 0.8%; y magnesio, 0.1%, lo cual indica el importante valor alimenticio de este molusco.



Fig. 11 Ostiones

Los moluscos como la almeja y el ostión presentan elevados índices de metales pesados que han dañado su estructura genética, tejidos y órganos internos, por lo que constituyen un riesgo potencial para la salud de los consumidores.

Los ostiones pueden presentar 3.7 microgramos de cadmio por gramo, mientras que la norma permite 0.5; 5.8 microgramos de plomo por gramo, cuando el límite es 1; y 6.7 microgramos de cromo por gramo, cuando lo admisible son 5 microgramos. En nuestro país, explicó la investigadora Socorro Sobrino Figueroa del Laboratorio de Contaminación y Bioensayos de la UAM, se carece de la legislación necesaria para establecer la dosis oral permisible de metales pesados en el organismo y así evitar riesgos en la salud, por lo que se tiene que recurrir a la reglamentación estadounidense, la cual no incluye al plomo ni al selenio. Tampoco se cuenta con normas que establezcan los índices permisibles para sedimento y que esos datos que ella obtuvo han sido comparados con los de lagunas estadounidenses, los cuales permitieron establecer que están por arriba de lo normal.

## Investigaciones realizadas en ostiones<sup>42</sup>

Existen algunos investigadores que miden ciertas cantidades de metales mediante un proceso que consiste en secar las almejas y los ostiones, triturarlos hasta pulverizarlos para determinar la concentración de algunos metales. También evalúan los aspectos fisiológicos como cambios en la respiración, excreción y, en el caso de los moluscos, la tasa de filtración, aspecto relacionado con la alimentación y aspectos bioquímicos como modificaciones en el DNA y daños oxidativos en tejidos de las especies, los cuales permiten determinar la presencia de metales en los organismos.

Los estudios realizados en este tipo de moluscos muestran que tienen una gran utilidad como organismo bio – indicador y se han utilizado en diversas investigaciones como:

- Revelación de la presencia de hidrocarburos petrogénicos en sus tejidos; con una distribución típica de n- parafina y la existencia de picos característicos de concentración petrolífera, específicamente en los bancos del lóbulo.
- Digestión de grandes cantidades de muestra donde se encontraron los metales: Pb>Mn>Mo>Cu ~Zn ~Co ~N> Fe.

Los biomarcadores son señales químicas presentes en los organismos que pueden ser identificables molecularmente por los investigadores para brindar información (temprana) sobre los cambios que ocurren en los fluidos corporales, en las células o en tejidos, por algún agente estresor, como los metales pesados. Por ejemplo el plomo afecta la glándula digestiva y las branquias de estos moluscos, por lo que dejan de alimentarse y de respirar; lo

anterior interfiere en su tasa de crecimiento y sus posibilidades de sobrevivencia.

La investigadora Socorro Sobrino Figueroa indicó que en México no existen estudios para evaluar los daños en el hombre por el consumo de especies contaminadas. De acuerdo con lo que se ha documentado hasta ahora, los metales pesados se albergan en órganos como el riñón o hígado, lo que puede dañar los tejidos y desencadenar algunos procesos de neoplasia (cáncer).

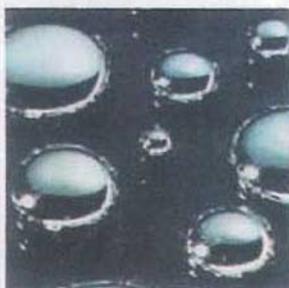
Actualmente se están dedicando grandes esfuerzos al desarrollo de un sistema de análisis químico, algunos ya han sido puestos a punto. La Administración de comida y drogas (Food and drugs administration, FDA) empezará una revisión de la seguridad de sus niveles aceptables de mercurio en mariscos, particularmente referente a verificar si los niveles son los suficientemente bajos como para prevenir daños a fetos en desarrollo en mujeres embarazadas que consumen pescado. La FDA emitió una advertencia a los consumidores el año pasado recomendando a mujeres embarazadas y aquellas que podrían estarlo para evitar comer los peces con los mayores niveles de mercurio: tiburón, pez espada y macarela real. La agencia dijo que estas mujeres podrían comer 12 onzas de otras especies de peces en forma segura por semana, pero enfatizó que deberían elegir una variedad de peces diferentes.

## Capítulo IV.

### Toxicidad de los metales

#### A) Mercurio (Hg)

Figura 12



#### Características

El mercurio es un metal que se conoce desde la antigüedad, el símbolo de este metal es Hg. Se le llama también azogue. El mercurio ocupa el lugar 67 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Se llama Mercurio debido a que los alquimistas (siglo VI) utilizaban el símbolo del planeta para representarlo y proviene del latín *hydrargyrum* que significa plata líquida. Elemento químico, símbolo Hg, número atómico 80 y peso atómico 200.59. Es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente (punto de fusión  $-38.4^{\circ}\text{C}$  o  $-37.46^{\circ}\text{F}$ ); ebulle a  $357^{\circ}\text{C}$  ( $675.05^{\circ}\text{F}$ ) a presión atmosférica. Es un metal noble, soluble únicamente en disoluciones oxidantes. El mercurio sólido es tan suave como el plomo. El metal y sus compuestos son muy tóxicos. El mercurio forma disoluciones llamadas amalgamas con algunos metales (por ejemplo, oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio).

El mercurio metálico se encuentra en forma de líquido en ciertas áreas volcánicas. El mercurio es un metal clasificado en el grupo de los metales pesados, metales que poseen una elevada toxicidad para personas y animales. El mercurio se encuentra en estado puro o combinado con plata en pequeñas cantidades, pero es más frecuente encontrarlo en forma de sulfuro, el

mercurio comercial disponible hoy en día se extrae del cinabrio (HgS), que es un mineral de color rojo oscuro:



Al escaparse el SO<sub>2</sub>, el cual es un gas, se condensa el mercurio, que después se purifica por destilación triple.

A temperatura ambiente el mercurio es un líquido muy pesado (un litro pesa 13.6 Kg), de color semejante a la plata, como su punto de ebullición es de 357° C y es altamente volátil a temperatura ambiente.

El mercurio presenta dos estados de oxidación, como monovalente (Hg<sup>+1</sup> mercurioso) y como divalente (Hg<sup>+2</sup> mercúrico). El mercurio divalente puede formar uniones covalentes con átomos de carbono y por esta propiedad se le conoce como mercurio orgánico<sup>14</sup>.

Los usos del mercurio en la industria son múltiples y existe peligro de exposición al mercurio en las siguientes industrias y ocupaciones:

- a) Se emplea en los laboratorios de investigación, investigación médica, en patología clínica y en odontología.
- b) Manufacturas de instrumentos científicos.
- c) Medidores eléctricos.
- d) Lámparas de vapor de Mercurio.
- e) Amalgama de cobre, zinc, plata y oro.
- f) Para soldadura.
- g) En la producción de compuestos orgánicos.
- h) En la fabricación de sombreros de fieltro.
- i) Como catalizador en la producción de plásticos de vinil, utilizando sales de mercurio.

## Comportamiento en el medio ambiente

Todos los organomercuriales usados hoy en día, sólo contienen mercurio de unión covalente a un átomo de carbono, como los diuréticos mercuriales que tienen la toxicidad más baja que los compuestos orgánicos y tienen uso clínico, son solubles en agua, y rápidamente excretados en la orina<sup>4</sup>. El acetato de fenilmercurio de toxicidad baja, se usa en gelatinas anticonceptivas, en fungicidas en las semillas.

Se ha observado que ciertas especies de río, pueden sintetizar metilmercurio a partir de mercurio inorgánico que se descarga de las industrias. Este compuesto se ha encontrado en el atún y pez espada.

La absorción del mercurio en el organismo puede ser por las vías respiratorias, gastrointestinal, piel y en el caso de preparaciones anticonceptivas a través de la vagina. En general, la mayoría de los compuestos de mercurio son bien absorbidos. Desafortunadamente no hay información precisa en el porcentaje de absorción en la región gastrointestinal en animales así como en el hombre. La absorción debe ser muy rápida ya que en el curso de envenenamiento están determinados por los eventos en los primeros 15 minutos más o menos, particularmente, por el vómito y el lavado terapéutico.

Los compuestos del mercurio inorgánico y orgánico que se presentan con ciertas concentraciones anormales pueden envenenar cualquier célula<sup>14</sup>. La diferencia entre el mercurio simple y el metil mercurio es muy importante. Esta segunda molécula es una forma orgánica, fácilmente reconocible por los seres vivos, que se acumula en el organismo y que posee una elevada toxicidad, sobre todo en el sistema nervioso.

El mercurio divalente se acumula en la placenta de los animales según experimentos hechos, sin embargo, sólo penetra un poco en el tejido fetal, en cambio, los compuestos como el metilmercurio pasan el tejido fetal sin dificultad. Estas diferencias en las relaciones de transferencia placentaria pueden tomarse en cuenta para el hecho de los efectos teratológicos.

El almacenamiento en el riñón es probablemente el proceso más importante para determinar el total de la distribución de mercurio en el organismo<sup>14</sup>.

El mercurio inorgánico se excreta por los riñones, glándulas salivales, sistema biliar y la piel. Los compuestos orgánicos de mercurio se excretan principalmente por la eliminación de este metal, ya que también ha sido encontrado en pelo humano después de la ingestión de alimento que contiene mercurio. El riñón y el hígado tiene la más alta proporción de Mercurio inorgánico. En cambio, se han encontrado pocas cantidades en el bazo, cerebro y sangre. Según las pocas observaciones hechas en heces, parece que la fracción de mercurio (inorgánico) es alta. La proporción en la orina varía según el tiempo transcurrido desde la administración de la dosis. En cambio, se encuentra poca cantidad de mercurio inorgánico en el cerebro, órgano principal para los compuestos de alquilmercurio. El tiempo de ataque al sistema nervioso central, es más o menos una semana, después de la exposición al metilmercurio.

## Efectos característicos

Existen dos tipos de envenenamiento por mercurio; el agudo y el crónico:

- a) Envenenamiento agudo: Los síntomas asociados con la ingestión oral de sales inorgánicas son gastroenteritis con dolor abdominal, vómito y diarrea con sangre. La anuria y la uremia se asocian con el daño severo al riñón y pueden aparecer un día o más después de la exposición.

La exposición aguda a altas concentraciones de mercurio en vapor pueden provocar características como el sabor metálico, náuseas, dolor abdominal, vómito, diarrea y dolor de cabeza. En unos cuantos días se inflaman las glándulas salivales y hay desarrollo de gingivitis, formándose una línea oscura en la encía inflamada, que se debe al sulfuro mercúrico presente y se pueden perder los dientes y formar úlceras en los labios.

- b) Envenenamiento crónico: Los síntomas son los mismos que los de la exposición aguda, puede aparecer después de una exposición aguda y desata problemas como ataxia, confusión en el hablar, entorpecimiento, temblor en los labios, manos y pies, dificultad auditiva y disturbios emocionales. Los síntomas son irreversibles en casos severos.

## Estudios realizados

Si en el embarazo la mujer ingiere cantidades de metilmercurio puede dar a luz a niños que sufran convulsiones, parálisis o retraso mental.

Los trabajos experimentales indican que los compuestos de metilmercurio son potentes inhibidores de la división celular y de la segregación de cromosomas<sup>14</sup>.

Las evidencias basadas en casos de envenenamiento industrial y la ingestión de metilmercurio en los alimentos, indican que los síntomas son observados primero en concentraciones de 100  $\mu\text{g}/100 \text{ mL}$  de sangre normal<sup>14</sup>.

Trabajos hechos con mercurio han sido reportados e indican que este metal tiene un efecto dramático en las membranas de una variedad de células de mamíferos. Por eso se incrementa la permeabilidad del potasio bloqueando el transporte de los azúcares. Estos efectos se deben a una combinación de mercurio con el grupo sulfhidrido de la membrana celular.

Las concentraciones consideradas límite son: 1 mg de mercurio/Kg o litro de producto.

## B) Cadmio (Cd)

Figura 13



### Características

El cadmio (en latín, *cadmia* y en griego *kadmeia*, que significa "calamina", el nombre que recibe antiguamente el carbonato de zinc) fue descubierto en Alemania en 1817. El elemento ocupa el lugar 65 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Tiene un punto de fusión de 321 °C, un punto de ebullición de 765 °C y una densidad de 8,64 g/cm<sup>3</sup>; la masa atómica del cadmio es 112,40. Al calentarlo arde en el aire con una luz brillante, formando el óxido CdO.

El cadmio es un elemento químico relativamente raro, tiene relación estrecha con el zinc con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado.

El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza y la greenockita (sulfuro de cadmio), único mineral de cadmio, no es una fuente comercial de metal. Casi todo el que se produce se obtiene como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales de zinc.

### Comportamiento en el medio ambiente

Los desechos sólidos son dispuestos en terraplenes resultando una gran contaminación de cadmio a niveles regionales y nacionales<sup>24</sup>. Las fuentes incluyen las cenizas del quemado de combustibles fósiles, desechos de la fabricación de cementos y la disposición de residuos y aguas residuales municipales. Sin embargo, la velocidad de depósito del cadmio alrededor de

las fundidoras es marcadamente elevada cerca de la fuente y generalmente disminuye rápidamente con la distancia.

Son comunes las concentraciones de cadmio en suelos arriba de los 100 mg/Kg, en las cercanías de las fundidoras<sup>9</sup>. Las hierbas que crecen cerca de las fuentes atmosféricas pueden contener altas concentraciones de cadmio. Sin embargo, no siempre es posible distinguir entre el cadmio proveniente de los depósitos superficiales o de la incorporación por raíces, ya que los niveles de concentración en los suelos de tales áreas son generalmente más altos que los normales.

La minería de metales no ferrosos representa una fuente mayoritaria de liberación de cadmio al medio acuático. La contaminación por esta fuente puede provenir del agua de drenado de minas, de aguas residuales provenientes del procesamiento de los minerales, derrames de las piscinas de los jales, agua de lluvia y de las partículas más ligeras.

Se ha estimado que a nivel mundial, la fundición de minerales metálicos no ferrosos es la fuente antropogénicas más grande de liberación de cadmio al medio acuático<sup>30</sup>.

El depósito húmedo de cadmio en aguas saladas y dulces representa un incremento muy grande de cadmio a nivel mundial<sup>30</sup>. Un estudio del grupo de expertos de aspectos científicos de la contaminación marina (GESAMP, Group of experts on the Scientific Aspects of Marine Contamination) del Mar Mediterráneo indica que esta fuente es de magnitud comparable a la contribución total de cadmio en los ríos de la región<sup>17</sup>.

Mucho del cadmio que ingresa a aguas dulces, proveniente de fuentes industriales, se adsorbe rápidamente por material minúsculo, donde puede permanecer fijo o suspendido, dependiendo de las condiciones locales. Esto

puede dar como consecuencia una concentración baja de cadmio disuelto en los ríos que reciben y transportan grandes cantidades de este metal<sup>43</sup>.

Existen al menos seis rutas<sup>21</sup> que confirman que los datos disponibles de la presencia de cadmio derivan de productos de desecho:

- Los organismos marinos generalmente contienen mayor cantidad de residuos de cadmio, que sus equivalentes de agua dulce y sus contrapartes terrestres.
- El cadmio tiende a concentrarse en las vísceras de los vertebrados, especialmente en el hígado y los riñones.
- Las concentraciones de cadmio son generalmente mayores en organismos viejos.
- Las altas concentraciones de residuos de cadmio se asocian generalmente con fuentes urbanas o industriales, sin embargo, esto no es aplicable a las aves marinas y mamíferos marinos, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2 Concentración de Cadmio en organismos animales o vegetales, caracterizada por depositarse en una región dada<sup>15</sup>

Organismo	Parte del organismo	Concentración de Cadmio mg/Kg de peso seco
<b>Organismos marinos</b>		
Algas		< 1 a 16
Moluscos	Partes suaves	Alrededor de 425
	riñón	Alrededor de 547
	hígado	Alrededor de 782
	Glándulas digestivas	Alrededor de 1163
Crustáceos	Cuerpo total	< 0.4 a 6.2
Anélidos	Cuerpo total	0.1 – 3.6
Pescados	Cuerpo total	> 5.2
Aves	Riñón	> 231
Mamíferos	Riñón	> 300

<b>Organismos de agua dulce</b>		
Planta	Planta total raíces	0.5 – 1.8 > 6.7
Moluscos	Parte suave (peso húmedo)	0.2 – 1.4
Anélidos	Cuerpo total (peso húmedo)	0.5 – 3.2
Pescados	Cuerpo total (peso húmedo)	0.01 – 1.04
<b>Organismos terrestres</b>		
Plantas	Planta total	> 27.1
	granos	> 25.7
Anélidos	Cuerpo total	3 – 12.6
Pájaros	Cuerpo total (peso húmedo)	< 0.05 – 0.24
	Riñón (peso húmedo)	> 7.4
Mamíferos	Riñón	> 8.1

- Los residuos de cadmio en plantas son normalmente menores a 1 mg/Kg. Sin embargo, algunas plantas que crecen en suelos enriquecidos con cadmio (por ejemplo con lodos residuales) pueden contener niveles significativos de este elemento (tabla 2).
- La especie analizada, la estación del año de colección, los niveles de cadmio ambiental, así como el sexo de los organismos en conjunto, afecta probablemente el nivel del elemento residual encontrado.

## Efectos característicos

La intoxicación con cadmio en los seres humanos se manifiesta con una irritación nefrotóxica y puede presentarse como:

- a) Intoxicación aguda y subaguda: Si se trata de inhalación de aerosoles, los síntomas van desde irritación de las vías respiratorias hasta disnea, además de debilidad, fatiga, anorexia, náuseas y alteraciones renales con proteinuria.

Por ingestión de alimentos o bebidas contaminadas se presentan severas alteraciones hepáticas y renales; náuseas, vómitos, diarreas, dolores abdominales y musculares, así como abundante salivación.

- b) Intoxicación crónica: Producida generalmente por inhalación de cadmio a través de aerosoles, conduce a enfisema y fibrosis pulmonar progresiva y alteraciones renales con proteinuria, que se agrava con el transcurso de la exposición.

La intoxicación crónica ocurre principalmente por dos motivos por exposición ocupacional o por ingestión de alimentos que tienen un contenido alto de cadmio adquirido generalmente por causas de contaminación ambiental.

## Estudios realizados

En el año de 1974<sup>21</sup> se llevó a cabo un muestreo de un pez: lenguado (Platichthyes flesus) del estuario de Severn, Reino Unido, en el que encontraron concentraciones promedio de cadmio entre 3.4 y 7.3 mg/Kg (peso seco). Sin embargo, los peces más grandes (27 – 29 cm) y los más viejos ( $\geq 5$  años) tenían la concentración promedio más alta. Se ha encontrado, así también, una correlación positiva entre el contenido de cadmio de una amplia variedad de especies de peces y el contenido de cadmio en la dieta de los crustáceos con los que se alimentaban.

Los invertebrados terrestres son relativamente insensibles a efectos tóxicos inducidos por cadmio, probablemente debido a los mecanismos de secuestro en órganos específicos. Cuando llegan a ocurrir efectos tóxicos, éstos consisten en una reducción del crecimiento y reproducción.

## C) Plomo (Pb)

Figura 14



El símbolo de este metal es Pb, derivada de la palabra latina plumbum que significa pesado.

La ubicuidad es característica del plomo. Ocupa el 16º lugar en orden de abundancia en la corteza terrestre y el 9º en el mar<sup>14</sup>.

El plomo es un metal blando y muy

### Características

muy pesado, se funde a una temperatura de 325° C y su densidad es de 11.4 g/mL.

Reacciona lentamente con el ácido clorhídrico, tiene poca acción con el ácido sulfúrico y el ácido nítrico lo ataca fácilmente. El plomo se encuentra ampliamente distribuido por todo el planeta en forma de galena, que es sulfuro de plomo. La cerusita y la anglesita son sus menas más importantes después de la galena. La extracción del plomo de la galena se lleva a cabo por calcinación de la mena, convirtiéndola en óxido y reduciendo el óxido con coque en altos hornos de la metalurgia. Otro método consiste en calcinar la mena en un horno de reverbero hasta que parte del sulfuro de plomo se transforma en óxido de plomo y sulfato de plomo. Se elimina el aporte de aire al horno y se eleva la temperatura, reaccionando el sulfuro de plomo original con el sulfato y el óxido de plomo, para formar plomo metálico y dióxido de azufre.

Una fuente importante de obtención de plomo se logra con los materiales de desechos industriales, que se queman y funden. Debido a que

la galena contiene normalmente otros metales, el plomo en bruto se obtiene por procesos de fundición por este motivo suele tener impurezas como cobre, zinc, plata y oro. La recuperación de metales preciosos de las menas de plomo es a menudo tan importante como la extracción del plomo en sí. El oro y la plata se recuperan por el proceso de Parkes, en el cual al plomo fundido, junto con sus impurezas, se le añade una pequeña cantidad de zinc. Esta aleación fundida aflora a la superficie del plomo en forma de una capa fácilmente separable, extrayendo el zinc del oro o de la plata por destilación. El plomo en bruto suele purificarse removiendo plomo fundido en presencia de aire. Los óxidos de las impurezas metálicas suben a la superficie y se eliminan. El plomo más puro se obtiene refinándolo electrolíticamente.

El plomo se emplea en grandes cantidades en la fabricación de baterías y en el revestimiento de cables eléctricos. También se utiliza industrialmente en las redes de tuberías, tanques y aparatos de rayos X. Debido a su elevada densidad y propiedades nucleares, se usa como blindaje protector de materiales radiactivos. Entre las numerosas aleaciones de plomo se encuentran las soldaduras, el metal tipográfico y diversos cojinetes metálicos. Una gran parte del plomo se emplea en forma de compuesto, sobre todo en pinturas y pigmentos.

El plomo y sus vapores son venenosos, además de sus compuestos; óxido de plomo, albayalde calcinado o litargirio ( $\text{PbO}$ ), óxido salino o mínio ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ), tetrametilo de plomo y tetraetilo de plomo.

Los usos de plomo en la industria son muchos y muy variados. Existe peligro de exposición al plomo en las siguientes industrias y ocupaciones:

- a) Imprentas (fundición de linotipias, etc.)
- b) Fábrica de pinturas
- c) Fábrica de acumuladores (baterías)

- d) Fabricación de lana blanca para calzado
- e) Manufacturas de anilinas
- f) Plantas de galvanización
- g) Minas de plomo
- h) Fabricación de insecticidas
- i) Fabricación de compuestos fosforados
- j) Depósito de chatarra de acero (cortado al soplete)
- k) Soldadura con plomo o estaño

La causa más frecuente de envenenamiento por plomo en el hogar es la ingestión de blanco de plomo, pintura que contiene sales (carbonatos) de plomo. Esta sustancia ataca al sistema nervioso central, causando daño cerebral y físico de secuelas permanentes, que se manifiestan con problemas de conducta, retraso mental e hiperactividad<sup>27,39</sup>.

El plomo se encuentra en algunas hortalizas en poca cantidad. Los alimentos enlatados contienen plomo en mayor proporción.

El plomo se encuentra distribuido en los tejidos de los seres vivos en cantidades pequeñas, como por ejemplo, en el riñón, pulmón y en el tejido óseo<sup>38</sup>.

Las vías de entrada de plomo al organismo son:

- 1) Por inhalación de vapores.
- 2) Por ingestión de compuestos de plomo
- 3) A través de la piel, algunos compuestos orgánicos de plomo.

Cuando se ingiere plomo, la mayor parte de él pasa a través del organismo sin absorberse y es eliminado en las heces. Por otra parte, la mayor porción de plomo que llega a absorberse es recolectada por el hígado y excretada en parte por la bilis. Por esta razón, para que exista intoxicación por vía digestiva, se necesita la ingestión de cantidades

considerables de plomo. Una dosis tóxica sería de 1 a 2 mg por día durante varios meses<sup>38</sup>.

Una exposición al plomo provoca acumulación en el cuerpo, almacenándose en tejidos, especialmente en los huesos<sup>1</sup>. Los síntomas de envenenamiento aparecen cuando el plomo almacenado es liberado a la sangre. Por esta razón se conoce como veneno acumulativo y se agrupa como elemento tóxico junto con el cadmio, arsénico y mercurio<sup>27</sup>.

## Efectos característicos

La intoxicación por Plomo se puede presentar como:

a) Envenenamiento agudo: El envenenamiento agudo por plomo es raro pero puede ser resultado de la inhalación en grandes cantidades. Los síntomas que se observan son: sabor metálico en la boca, salivación, cólico, vómito, anuria y shock.

b) Envenenamiento crónico: Los signos y síntomas de envenenamiento crónico por plomo se pueden dividir en cuatro:

- hematológico: Una importante guía química de los efectos del plomo en el sistema hematopoyético es la aparición de coproporfirina III en la orina. Se ha demostrado que un mayor nivel del ácido delta – aminolevulínico en la orina da un signo más temprano de la exposición de plomo que el elevado de coproporfirina<sup>19</sup>. El plomo también interfiere con la incorporación de hierro en la protoporfirina para formar el grupo hemo.

- neurológico: los primeros síntomas incluyen irritabilidad, dolor de cabeza, insomnio, cansancio, ataxia y después confusión, delirio, convulsiones y puede desarrollarse un estado de coma<sup>39</sup>. El diagnóstico no se sospecha hasta que ya se haya ingerido en gran cantidad, debido a las medidas de seguridad en las industrias y es raro que se presente en

adultos, la encefalopatía en la actualidad se observa principalmente en los niños.

- digestivo: el cólico de plomo o de “pintores”, resulta del espasmo intestinal, trae como consecuencia natural el estreñimiento y son comunes las náuseas y vómitos. Primero, hay pérdida de peso y apetito, después, viene la fátiga<sup>14</sup>.

- otros: pueden ser la aparición de una línea de color negro azulado en el margen de la encía, esta línea llega a formarse por la precipitación de sulfato de plomo en los bordes gingivales y en los dientes, pero ésto no es frecuente debido a la mayor higiene bucal<sup>14</sup>.

## D) Cromo (Cr)

Figura 15



### Características

La palabra cromo viene del griego *chroma*, 'color', debido a los múltiples colores de sus compuestos. El cromo es elemento metálico de color gris que puede presentar un intenso brillo. El cromo es un elemento común y ocupa el lugar 21º en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Su masa atómica es 51,996; su punto de fusión es de 1.857 °C, su punto de ebullición de 2.672 °C y su densidad 7.2 g/cm<sup>3</sup>.

En las sales crómicas y en la cromita, el cromo tiene un grado de oxidación de +3. La mayoría de estos compuestos son de color verde, pero algunos son de color rojo o azul. El óxido de cromo (III) ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) es un sólido verde. En cromatos y dicromatos, el cromo tiene un grado de oxidación de +6. El dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) es un sólido rojo, soluble en agua; el cromato de plomo ( $\text{PbCrO}_4$ ) es un sólido insoluble, muy usado como pigmento, llamado amarillo de cromo. El verde cromo es una mezcla de amarillo de cromo y azul de prusia.

Más de la mitad de la producción total de cromo se destina a productos metálicos y una tercera parte es empleada en refractarios. El cromo está presente en diversos catalizadores importantes. Principalmente se utiliza en la fabricación de aleaciones de hierro, níquel o cobalto. Al añadir el cromo se consigue aumentar la dureza y la resistencia a la corrosión de la aleación. En los aceros inoxidables, constituye el 10% de la composición final. Debido a su dureza, la aleación de cromo, cobalto y wolframio se emplea para herramientas de corte rápido de metales. Al

depositarse electrolíticamente, el cromo proporciona un acabado brillante y resistente a la corrosión. Debido a ello se emplea a gran escala en el acabado de vehículos. El amplio uso de la cromita como refractante se debe a su alto punto de fusión, su moderada dilatación térmica y la estabilidad de su estructura cristalina.

## Efectos característicos<sup>23</sup>

- *Seres humanos/ mamíferos*: Debido a su insolubilidad el cromo metálico no es tóxico en el agua. Los diversos compuestos del cromo hexavalente representan la mayor amenaza, especialmente debido a sus efectos genéticos. Los compuestos del cromo (VI) actúan en casi todos los sistemas de ensayo diseñados para determinar sus efectos mutagénicos. El hecho comprobado de que atraviesa la placenta significa un alto riesgo para los embriones y fetos. El efecto carcinógeno de los compuestos del cromo (VI) no sólo ha sido demostrado experimentalmente con animales, sino también ha sido confirmado por los resultados de estudios epidemiológicos realizados con grupos humanos expuestos a esta sustancia en su lugar de trabajo. Se considera que el período de latencia correspondiente oscila entre 10 y 27 años. Contrariamente a lo que ocurre con los compuestos del cromo (VI), no fue posible demostrar en forma concluyente el efecto carcinógeno de los compuestos del cromo (III). Las intoxicaciones agudas con compuestos del cromo (VI) se manifiestan, por ejemplo, como lesiones renales. Las intoxicaciones crónicas pueden producir mutaciones en el tracto gastrointestinal así como acumulaciones en el hígado, en el riñón, en la glándula tiroidea y en la médula ósea. El índice de eliminación es lento (ver tabla 3).
- *Plantas*: En las plantas se conocen, entre otras, lesiones en el sistema radicular, originadas principalmente por el cromo (VI). No sólo las

distintas especies sino también las distintas partes internas de las plantas difieren considerablemente en el modo de asimilar el cromo y en el tipo de lesiones que acusan. Los efectos tóxicos que el cromo ejerce sobre las plantas han sido descritos, fundamentalmente, con base en ensayos vasculares. En la avena pudo comprobarse que las raíces no se desarrollaban y que las hojas se mantenían angostas, tomando una coloración pardo-rojiza con aparición de pequeñas manchas necróticas (ver tabla 3).

*Nota:* El cromo con grado de oxidación III es un elemento traza importante para el metabolismo insulínico, tanto en el ser humano como en los animales.

Tabla 3 Toxicidad del cromo en los seres vivos<sup>23</sup>.

<i>Seres humanos:</i>		
	0,5-1 g oral = letal (cromato de potasio)	S.MERIAN, 1984
	DL 6-8 g oral (dicromato de sodio)	S.KOCH, 1989
<i>Mamíferos:</i>		
Ratas	DL <sub>50</sub> 1800 mg/Kg oral (cloruro de cromo(III))	S.MERIAN, 1984
	DL <sub>50</sub> 3250 mg/Kg oral (nitrato de cromo(III))	S.MERIAN, 1984
<i>Organismos acuáticos:</i>		
Peces de agua dulce	CL <sub>50</sub> 250-400 mg/L (Cr <sup>VI</sup> )	S.MERIAN, 1984
Peces de mar	CL <sub>50</sub> 170-400 mg/L (Cr <sup>VI</sup> )	S.MERIAN, 1984
Daphnia (pulgas acuát.)	CL <sub>50</sub> 0,05 mg/L (Cr <sup>VI</sup> )	S.MERIAN, 1984
Algas	CL <sub>50</sub> 0,032-6,4 mg/L (Cr <sup>VI</sup> )	S.MERIAN, 1984
Truchas de arroyo y trucha arcoiris	0,20-0,35 mg/L (Cr <sup>VI</sup> )	S.DVGW, 1988
Peces sin especificar	DL 60-728 mg/L (dicromato de sodio)	S. KOCH, 1989

## Comportamiento en el medio ambiente<sup>23</sup>

- *Agua:* En los sistemas acuáticos, la toxicidad de los compuestos solubles del cromo varía según la temperatura, pH y dureza del agua, y según las especies de organismos que los pueblan. Los compuestos del cromo (VI) se disuelven con facilidad, pero en condiciones naturales y en presencia de materia orgánica oxidable, se reducen rápidamente a compuestos de cromo (III) más estables y menos hidrosolubles.
- *Suelo:* La movilidad del cromo en la pedósfera solamente puede evaluarse si se consideran la capacidad de adsorción y reducción de los suelos y de los sedimentos. Los hidróxidos de cromo (III), una vez sedimentados y fijados en el sedimento acuático, difícilmente vuelven a movilizarse, dado que la oxidación de los compuestos de cromo (III) para formar compuestos de cromo (VI) prácticamente no ocurre en forma natural. El cromo (VI), aun en concentraciones relativamente bajas, ya resulta tóxico, siendo el pH del suelo un factor fundamental. El uso de abonos fosfatados incrementa el ingreso de cromo al suelo.
- *Cadena alimentaria:* El cromo se encuentra en *alimentos* con la presencia de los factores del alimento que incluyen los acompañamientos de la proteína<sup>22,35</sup> que ayuda en la absorción del cromo (las sales minerales del cromo son los compuestos químicos que son rocas o productos sintéticos). Las rocas del cromo se absorben mal por los seres humanos (en algunos casos se absorbe menos del 1% )<sup>16</sup>. Las plantas convierten los componentes del suelo, incluyendo el cromo, en *el alimento*<sup>13</sup>. A los seres humanos se les sugiere consumir el alimento, no el suelo<sup>13</sup>, consumir sales minerales de las plantas por lo menos 2 veces cada tercer día, esto es debido a que el cromo en el alimento es más fácil de ser degradado en el sistema digestivo.

Los compuestos del cromo (III) asimilados junto con los alimentos resultan relativamente inocuos; los compuestos del cromo (VI), en cambio, tienen efectos altamente tóxicos. Tanto los animales como los seres humanos sólo incorporan a su organismo cantidades relativamente pequeñas de cromo por inhalación; la mayoría de las sustancias que contienen cromo ingresan al organismo a través de los alimentos y del agua que se bebe. La resorción en el intestino depende en gran medida de la forma química en que se presenta el cromo: se asimilan aproximadamente entre un 20-25% de los complejos de cromo orgánico y aproximadamente un 0,5% del cromo inorgánico.

En cuanto al comportamiento del cromo en el medio ambiente, se puede afirmar que los compuestos del cromo (III) tienen gran estabilidad, contrariamente a lo que ocurre con los compuestos del cromo (VI).

Los desechos que contienen cromo deben evaluarse con ánimo crítico, teniendo en cuenta especialmente el comportamiento de estas sustancias en los estratos del subsuelo debajo de los rellenos sanitarios. Se estima que en un ambiente alcalino, los cromatos permanecen estables hasta 50 años y que son capaces de atravesar incluso suelos cohesivos para migrar hasta las capas subterráneas.

Por lo expuesto, debería evitarse en lo posible la incineración de todos los desechos con contenido de cromo (III) debido a la posible formación de cromatos (Cromatos alcalinos: se sospecha que poseen un potencial cancerígeno elevado).

## Capítulo V.

### Método de estudio

Debido a la creciente demanda de análisis y trabajos de investigación orientados en la determinación y cuantificación de metales, el avance de la tecnología hoy en día, le permite al analista optar por diferentes técnicas instrumentales para llevar a cabo estas mediciones, como:

#### Absorción en resinas

Existe un método de absorción de metales en resinas (método de RIELES). Las resinas coordinantes son productos que tienen la habilidad de retener en forma muy eficiente cierto tipo de metales (mediante coordinación química), los que luego pueden ser recuperados desde la resina por elusión. Esta técnica se basa en la separación de los componentes de una mezcla, los componentes de la mezcla interaccionan de distinta forma con la fase estacionaria (la resina) y con la fase móvil (sólido, líquido o gas). De este modo los componentes atraviesan la fase estacionaria a distintas velocidades y se van separando. La fase estacionaria está constituida por sustancias granuladas insolubles las cuales tienen en su estructura molecular radicales ácidos o básicos de diversa porosidad<sup>45</sup>. Después de haber pasado los componentes por la fase estacionaria y haberse separado llegan a un detector que genera una señal correspondiente a la concentración y al tipo de compuesto.

Por otra parte estas resinas sirven para tratar las aguas y descontaminarlas, de esta manera asegurará la limpieza de los cauces naturales, evitándose la contaminación de algunos recursos marinos, como

locos, lapas, ostiones, choritos y almejas, naturales o cultivados, con lo que se logrará mitigar el impacto ambiental y económico sobre vastas áreas.

## Espectroscopia atómica<sup>41</sup>

La espectroscopia en general, estudia la interacción entre la radiación y la materia. La técnica de **espectroscopia de emisión atómica**, en particular, es una técnica instrumental que tiene por objeto el estudio de la radiación de la transición de electrones de niveles electrónicos superiores a inferiores de los átomos, después de que éstos se excitan. Esta técnica pueden usarse para determinar “cuánto” de un elemento está presente en una muestra. Para el análisis cuantitativo se mide la intensidad de la luz emitida a la longitud de onda del elemento por determinarse.

La técnica de espectroscopia de absorción atómica, aprovecha la radiación que absorben los átomos, cuando los electrones pasan del estado basal a niveles energéticos superiores, para identificar y cuantificar a los elementos. La técnica consiste en hacer incidir energía, de determinada longitud de onda, sobre un átomo libre en estado fundamental, el átomo puede absorber energía y pasa al estado excitado, midiéndose la energía que absorbe el analito al excitarse.

La infraestructura existente en **Espectrometría Analítica de Absorción y Emisión Atómica** ofrece la posibilidad de realizar determinaciones semi-cuantitativas, cuantitativas y confirmación analítica de elementos alcalinos, alcalinotérreos, metales de transición, lantánidos, actínidos y algunos no metales “que se encuentran en concentraciones pequeñas” en todo tipo de muestras, previa disolución de las mismas y en algunos casos sin tratamiento previo.

La **espectroscopia de emisión atómica**, en particular, es una técnica instrumental que tiene por objeto el estudio de la radiación procedente de

los niveles electrónicos de los átomos después de que éstos se excitan con una fuente térmica.

La fuente térmica por excelencia es la llama o flama (figura 16). En los primeros equipos, la muestra se añadía directamente a una llama producida en un mechero y se observaba su cambio de color, que era diferente para cada elemento.



Figura 16

La absorción de la radiación por los átomos del sol en la atmósfera fue observada en 1814. Sin embargo, fue hasta 1953 que un físico australiano, Alan Walsh, demostró que la absorción atómica se podría utilizar como herramienta analítica cuantitativa en el laboratorio químico. En el transcurso del tiempo se desarrolló esta técnica y actualmente es una de las más utilizadas debido a su sensibilidad y selectividad para determinar trazas de metales del orden de mg/L y  $\mu\text{g/L}$ .

La EAA (Espectrometría de Absorción Atómica) constituye un método para el análisis elemental en disoluciones, lo cual es de gran utilidad en la determinación de trazas de metales en todo tipo de muestras. Con esta técnica se obtiene el contenido total de metal en la muestra, independientemente del estado molecular en que se encuentre<sup>41</sup>. El método es tan sensible que permite detectar elementos distintos en concentraciones tan bajas como 0,1 ppb (partes por billón,  $10^{-9}$  mg/L). Por ejemplo: es posible cuantificar los elementos contenidos en una cucharadita de sal en el volumen de agua contenido en una piscina olímpica. La aplicación de la EAA permite establecer las condiciones reales de aptitud, por ejemplo, del

agua que habrá de utilizarse en pacientes que deben ser dializados; o del suero humano, en relación con sus contenidos terapéuticos. Pero, como ya se expresó, no sólo se trata de usos en la Medicina; también se la utiliza en la detección de metales pesados (plomo, mercurio, arsénico, cadmio, etc.) en cursos de agua, es decir, en temas de contaminación acuática, o de calidad de alimentos y/o de medicamentos; de metalurgia; de pericias forenses, etc.

Los equipos de absorción atómica deben contar con los mismos elementos que los de emisión atómica y además una fuente luminosa que proporcione energía de la longitud de onda necesaria para cada elemento.

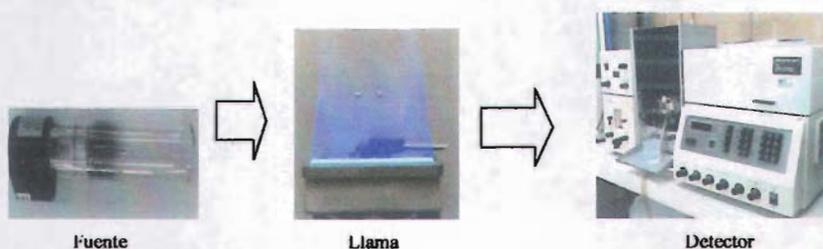


Figura 17 Esquema sencillo de un equipo

El procedimiento químico que se lleva a cabo en la flama es a nivel atómico. Los átomos libres formados del analito absorben, en una llama, la radiación de una fuente externa, se elevan a un estado electrónico excitado, y después vuelven a su estado basal.

Existen diferentes tipos de “celdas” en las que se coloca al analito en estado basal y éstas son: la flama, la celda para vapor frío o generación de hidruros y el horno de grafito.

## Espectrometría de absorción atómica con flama.

El proceso de absorción atómica se efectúa en varios pasos. Inicialmente se tiene una disolución de la muestra, que se aspira y se

nebuliza hacia la cámara del quemador, donde se mezcla con los gases combustible y oxidante formando un aerosol muy fino, que llega a la cabeza del quemador (a la flama). En este punto, los metales están todavía como sal, pasan al calor de la llama, el proceso de evaporación o desolvatación remueve el disolvente y deja partículas sólidas pequeñas del material de la muestra, que a continuación se disocian y pasan a estado basal, quedando así disponibles para absorber la energía de la fuente luminosa, que irradia energía de la longitud de onda correspondiente a cada elemento.. Puesto que la energía de la llama es responsable de la producción de las especies que absorben, la temperatura de la llama es un parámetro importante que gobierna el proceso de la llama. Las flamas más frías están sujetas a más problemas de interferencias, provenientes de la insuficiente energía para una completa atomización<sup>44</sup>.

El instrumento mide la cantidad de energía absorbida, que es directamente proporcional a la concentración del analito, para cierto intervalo de concentraciones.

Las relaciones entre el número de átomos en la llama y la concentración del analito en la solución está gobernada por el proceso en la llama.

## Espectrometría de absorción atómica por vapor frío.<sup>44</sup>

Estas técnicas incrementan la sensibilidad de la absorción atómica, logrando límites de detección del orden de 1000 veces mejor que en la flama.

Químicamente, el procedimiento para EAA por **vapor frío** es simple (figura 18). La reducción se efectúa agregando gránulos de  $\text{NaBH}_4$  o una disolución de  $\text{NaBH}_4$  a la muestra. El vapor del hidruro formado, se arrastra

por una corriente continua de nitrógeno, llevándolo a un tubo de cuarzo colocado sobre la flama, en la trayectoria óptica y se registra la señal de absorción mientras que el vapor pasa a través del tubo del cuarzo.



Figura 18 Sistema básico<sup>41</sup>

Las determinaciones del mercurio se puede realizar por este método, se forma mercurio metálico en fase vapor, no el hidruro y la llama no es necesaria. Los compuestos del mercurio en la solución ácida se reducen al elemento libre con cloruro estañoso o borohidruro de sodio y el vapor del mercurio es llevado a la celda de cuarzo por una corriente continua de nitrógeno<sup>44</sup>.

El principio químico de formación de vapor frío consiste en que el  $\text{NaBH}_4$  reduzca al  $\text{Hg}^{+2}$  o  $\text{Hg}^{+1}$  llevándose a cabo la siguiente reacción<sup>3</sup>:



## Espectroscopia de absorción atómica por generación de hidruros.<sup>44</sup>

En la técnica por **generador de hidruros**, se pueden determinar los hidruros gaseosos de ciertos metales como el antimonio, el arsénico, el plomo, el selenio y el telurio que se obtienen químicamente reduciendo el elemento al hidruro gaseoso con  $\text{NaBH}_4$  y después disociando el hidruro en un tubo de cuarzo calentado. Las muestras reaccionan con dicho agente reductor en un dispositivo externo al equipo de absorción atómica.

El frasco está sellado y los hidruros gaseosos e hidrógeno producido, se llevan o se arrastran por argón hacia una celda de cuarzo calentada o una celda de muestreo que se encuentra en el paso óptico del espectrómetro de absorción atómica. Estos compuestos moleculares no son capaces de dar una señal de absorción atómica, por lo tanto la celda se calienta para disociar el hidruro gaseoso en átomos libres. Cuando el hidruro gaseoso se disocia en átomos libres, la absorción atómica crece y cae a medida que se forman los átomos y escapan de la celda de absorción. Cuando se registra este proceso, se produce una señal que aumenta y luego disminuye. Se mide el máximo de absorción o altura de pico, como señal analítica.

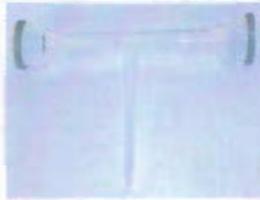


Figura 19

Los valores extremadamente bajos, submicrogramos por litro, son el resultado de una eficiente producción de átomos en un gran volumen de muestra y en un corto período de tiempo.

Los elementos (As, Bi, Ge, Pb, Sb, Se, Te y Sn)<sup>26</sup> determinables utilizando la técnica de generación de hidruros gaseosos son de importancia ambiental o de interés toxicológico, por lo que los pequeños límites de detección hacen que estos métodos sean atractivos para este tipo de aplicaciones. A pesar de que la técnica está sujeta a una variedad de interferencia, con la generación de hidruros se es capaz de analizar muchas muestras de naturaleza compleja que son difíciles o casi imposibles de analizar por algún otro método, es por eso que podemos decir que la matriz prácticamente no interfiere en estas determinaciones. Estos hechos hacen

que la absorción atómica con generación de hidruros sea una importante técnica analítica ampliamente usada.

## Espectrometría de absorción atómica sin flama (horno de grafito).<sup>41</sup>

El horno de calentamiento de grafito (Figura 20) consiste de un cilindro hueco de grafito de 50 mm de largo y 10 mm de diámetro colocado de tal manera que el rayo de la fuente pase a través de él. En el centro de la parte superior del cilindro hay un orificio de cerca de 2 mm de diámetro a través del cual se pipetea la muestra (1 a 100 mL). El cilindro se purga con un gas inerte ( $N_2$  o Ar).



Figura 20

Las características más atractivas de las celdas sin flama son su alta sensibilidad ( $10^{-8}$  a  $10^{-11}$  g soluto), la capacidad de manejar volúmenes o cantidades de muestra muy pequeños, del orden de microlitros, análisis directos (particularmente para muestras biológicas) y una señal de bajo ruido.

## Funcionamiento del equipo

### La flama<sup>41</sup>

En los aparatos de hoy en día se introduce una disolución nebulizada de la solución problema en la flama, donde se produce un proceso de desolvatación, vaporización y atomización.

Por la flama se hace pasar la radiación de una fuente externa de luz, que emite la(s) línea(s) espectral(es) correspondiente(s) a la energía necesaria para una transición electrónica del estado normal a un estado excitado. La absorción se mide por medio de la diferencia entre las señales transmitidas en presencia y ausencia del elemento analizado.

Un componente importante en cualquier espectrómetro de emisión de flama o absorción atómica es el sistema de nebulizado (que tiene como componentes principales la cámara de premezcla y el quemador) el cual, transforma a la sustancia problema de la solución en vapor atómico (el proceso debe ser tan eficiente que el contenido de una muestra no debe afectar el resultado de la siguiente muestra).

Debido a que la región óptima de la flama que se vaya a usar varía para diferentes elementos, es esencial que la altura del quemador sea ajustable para asegurar la máxima señal de absorción. Existen tres cabezas de quemador, (Figura 21) y se usan de acuerdo al tipo de flama que se va a usar. La primera y la segunda sirven para flama de aire acetileno (la segunda para muestras muy diluidas, tiene tres rendijas) y la tercera para flama de óxido nitroso acetileno (para elementos refractarios).



Figura 21

La flama se usa para transformar la sustancia analizada del estado líquido al estado gaseoso – vaporización, para la conversión de las entidades de vapor atómico – vaporización, y en los estudios de emisión,

para emisión del vapor atómico y molecular (figura 22). Los dos requisitos para una flama satisfactoria son que ésta tenga la temperatura apropiada y la proporción adecuada de combustible y oxidante.

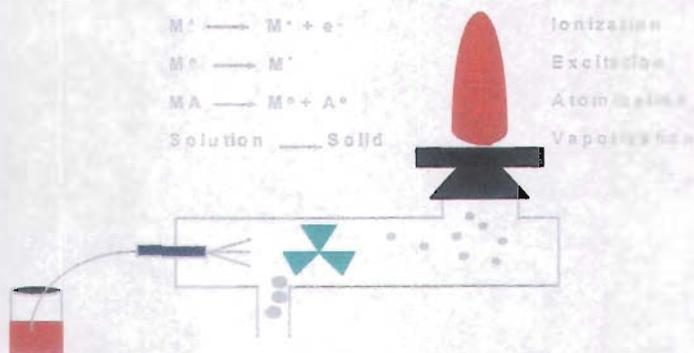


Fig. 22 Diagrama esquemático de una flama estequiométrica con 2 gases.

Los límites de detección alcanzados son adecuados para muchos propósitos. Menores límites de detección pueden ser obtenidos con instrumental más sensible, como el horno de grafito en el caso de absorción atómica o nebulizador ultrasónico para emisión atómica. Con estas técnicas se pueden analizar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica.

## Consideraciones ópticas.

La base de todo espectrómetro de absorción atómica es el sistema óptico. La figura 23 representa un espectrofotómetro de absorción atómica de un solo haz. Se le llama de un solo haz, porque todas las medidas se basan en la variación de la intensidad de luz en un solo haz. Se pueden obtener significantes y convenientes beneficios con la incorporación óptica adicional para tener el sistema de “doble haz”<sup>44</sup>.

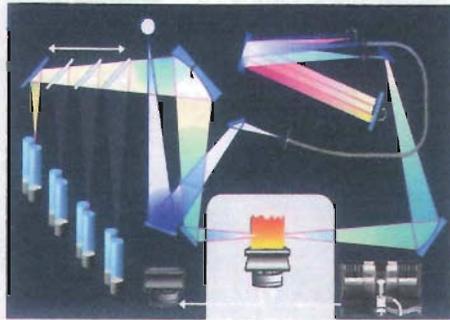


Figura 23

La función del sistema óptico consiste en seleccionar una cierta línea en del espectro de emisión y aislarla de las demás líneas. Los fotómetros de flama económicos emplean filtros de interferencia para aislar la radiación característica de un determinado elemento. Estos instrumentos están limitados en su aplicación a las muestras y a los elementos que, al ser excitados por una flama, producen un espectro simple en la porción visible de éste, tales como los metales alcalinos (son equipos útiles para ciertas empresas y para docencia).

Es posible lograr un mejor aislamiento de energía espectral con un prisma o un monocromador de rejilla, los cuales producen una selección continua de longitudes de onda y una oportunidad para medir la radiación de fondo adyacente a una línea analítica. En un instrumento de uso general se desea una resolución del orden de 0.5 Å. Para resolver espectros con características de emisión definidas, por lo que se prefieren monocromadores con dispersión y poder de resolución altos, mientras que los espectros de bandas de emisión se muestran más claramente con instrumentos de baja dispersión.

En la absorción atómica, la anchura de la rendija espectral del monocromador está determinada por el ancho de la línea de emisión de la

fuente. El monocromador se usa sólo para aislar la línea deseada de otras líneas de emisión y para reducir notablemente el flujo total de luz que llega al detector. Cuando es factible, las rendijas se pueden ensanchar para permitir la entrada de más luz. Esto se traduce en una mejora en la precisión y en el límite de detección<sup>41</sup>.

En un sistema óptico dual de doble haz utiliza monocromadores independientes que ofrecen al analista alternativas como: (1) dos canales independientes, cada uno analizando un elemento diferente simultáneamente; (2) un canal operando con la técnica de emisión y el otro en la absorción atómica; (3) un canal operando con la técnica convencional de absorción, mientras que el otro determina la absorción de fondo en una línea no absorbente cercana; (4) un método de dos líneas en el cual cada una se sintoniza a dos longitudes de onda absorbente separadas del mismo elemento y (5) un canal mide el patrón interno adicionado, mientras que el otro mide la señal de la muestra. En un sistema de longitud de onda dual menos sofisticado, se usan dos interferencias que se interponen alternadamente en la trayectoria óptica de la flama.

Hay algunas reglas básicas a tener en cuenta para elegir un equipo con un buen sistema óptico, las cuales son:

- La cantidad de energía que sale de un monocromador es proporcional al área de la red de difracción.
- La cantidad de líneas talladas en la red determina la separación de las líneas espectrales. Cuanto más líneas tenga la red, mayor separación habrá entre las líneas espectrales, con lo que no habrá luego compromiso en el tamaño de la apertura de la ranura de salida del monocromador. Este parámetro está relacionado a su vez con la dispersión lineal recíproca.

- La cantidad de energía que sale de un monocromador es inversamente proporcional a la dispersión lineal recíproca y da una idea de cuánto debe estar abierta la ranura de salida para obtener una determinada resolución. Cuanto menor sea este valor mayor energía saldrá del monocromador hacia el detector. Por ejemplo, una dispersión lineal recíproca de 1 nm/mm implica que se necesita una apertura de ranura de 1 mm. para lograr una separación de 1 nm.
- Las redes están optimizadas con un ángulo destello o de “blaze” a una determinada longitud de onda y a medida que se aleja uno de la misma se pierde eficiencia. Por eso hay equipos que sólo optimizan su red en el UV y otros que lo hacen también en el visible.

Estos parámetros deben ser tomados en cuenta en forma conjunta ya que determinan los valores de eficiencia óptica de un equipo, estableciendo diferencias fundamentales entre equipos aparentemente similares en diseño y muy distintos en su funcionamiento<sup>46</sup>.

## Sistema de fotodetector, amplificador y lectura.<sup>41</sup>

El uso de una celda está restringido a sistemas que emiten una gran cantidad de energía radiante y a instrumentos con sistemas ópticos que emiten una gran cantidad de energía radiante y a instrumentos con sistemas ópticos que permiten la llegada al detector de una amplia banda de energía radiante.

Para una alta sensibilidad y precisión, es esencial contar con un fototubo multiplicador y su correspondiente suministro de energía, éste transforma la radiación en corriente eléctrica, corriente fácil de medir. Se requieren fuentes de energía estables. Las fluctuaciones de corta duración se pueden manejar algunas veces con un sistema integrador en el cual la

señal de salida del detector se alimenta ya sea a un condensador por un tiempo fijo (unos 30 segundos), midiéndose la señal resultante o a un registrador durante 1 a 2 minutos, promediando los trazos.

El ruido electrónico en el sistema detector-amplificador se puede reducir a un nivel insignificante, usando la expansión de escala. El cero del medidor o del registrador se desplaza fuera de la escala. De manera que el dispositivo de lectura se puede usar como una parte más amplia y las lecturas de pequeñas disminuciones de la luz transmitidas pueden aumentar considerablemente.

Un instrumento de haz simple contiene un solo sistema de dispositivos ópticos. La señal transmitida a través de la flama desde la fuente de absorción atómica, se enfoca con los lentes de vidrio resistentes y la señal pasa a través de filtros de interferencia intercambiables hacia un fotodetector simple, o bien se pasa hacia el monocromador y la radiación sale hacia el detector. Se necesitan uno o más grados de radiación para que la señal aparezca en el dispositivo de lectura.

En un sistema de doble haz la señal del detector se amplifica y se separa hacia los canales de muestra de referencia por medio de un interruptor vibratorio. El voltaje de referencia se atenúa con un contacto de alambre de cursor (potenciómetro de equilibrio a cero) y se recombina con el voltaje de la muestra, de tal manera que sólo se preserva la diferencia entre ambos. Esta diferencia en voltaje se amplifica, se rectifica y se alimenta a un microamperímetro. El operador activa el contacto de alambre de cursor hasta que el medidor registra cero; la cantidad de atenuación requerida es equivalente al porcentaje de absorción ( $100\% T$ ) en el haz de la muestra. La señal de diferencia se alimenta a un registro y aparece como una serie de zonas planas- el trazo de "cero" con un rociado de un testigo, y la señal patrón o de muestra con un rociado de una solución apropiada. La

técnica de haz doble contrarresta el efecto de variaciones de la lámpara y del cambio de sensibilidad del detector con el tiempo, pero no puede compensar la inestabilidad y el ruido de la flama porque ésta solamente se encuentra en uno de los dos haces. Las variaciones en el suministro de energía no deben ser de tal magnitud que causen un cambio apreciable en el ancho de la línea de la fuente.

## Intervalo Lineal<sup>44</sup>

Cuando la absorbancia de soluciones patrón conteniendo concentraciones conocidas del analito se miden y se grafican los resultados de las absorbancias con respecto a la concentración, se establece una relación de calibración. En la región en la cual se observa que la ley de Beer, produce una línea recta. Conforme se incrementan la concentración y la absorbancia, comportamientos no – ideales de los procesos de absorción producen una desviación en el desarrollo de la línea recta (figura 24).

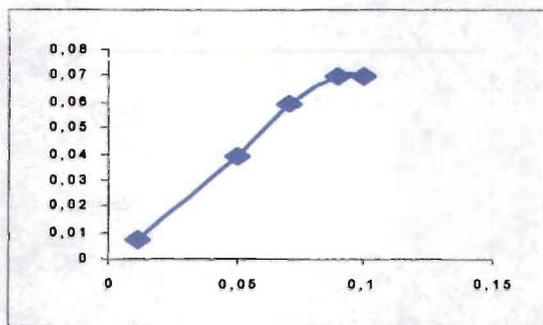


Figura 24.

Después que se ha establecido tal curva de calibración, se puede medir la absorbancia de soluciones de concentraciones desconocidas y su concentración directamente de la curva de calibración, en el intervalo donde lo anterior se cumple, lo cual es característico para cada elemento.

## Interferencias <sup>44</sup>

El primer proceso de interferencia es la nebulización, Si la muestra es más viscosas o tiene una tensión superficial característica considerablemente diferente a la de los patrones, la velocidad de aspiración de la muestra o la eficiencia de nebulización pueden ser diferentes entre las muestras y los patrones. Si las muestras y los patrones no son introducidos en el proceso a la misma velocidad, es obvio que el número de átomos en el rayo de luz y la absorbancia no correlacionará entre los dos. Existirá entonces una interferencia generada por la matriz.

El segundo proceso en la llama, en el cual se puede producir interferencias es el proceso de atomización. En este paso se debe disponer de suficiente energía para disociar la fórmula molecular del analito y crear átomos libre. Si la muestra contiene un componente el cual forma un componente térmicamente estable con el analito y no es completamente descompuesto por la energía disponible de la llama, existirá una interferencia química.

Existe una tercera interferencia mayor, la cual a menudo se encuentra en llamas calientes. Este proceso de la disociación no termina necesariamente en el átomo en su estado fundamental. Si se aplica energía adicional, el átomo al estado fundamental puede ser térmicamente elevado al estado excitado o si la energía termal es suficiente, el electrón puede ser completamente removido del átomo originando un ión. Como estos rearrreglos electrónicos disminuyen el número de átomos disponibles en estado fundamental para absorción atómica a la longitud de onda de resonancia. Cuando un exceso de energía destruye el átomo en estado fundamental, existe una interferencia por ionización.

## Adiciones Patrón.<sup>47,44</sup>

Existe una técnica que permite trabajar en la presencia de una interferencia sin eliminarla y realiza una determinación exacta de la concentración del analito. Esta técnica es denominada “Método de adiciones patrón” Para incluir los efectos de la matriz en el análisis de una muestra el procedimiento mas adecuado es realizar la adición de cantidades conocidas de patrón a una porción predeterminada de la muestra. En este procedimiento se espera observar la dependencia lineal entre la concentración y la absorbancia por lo tanto la pendiente de la recta está determinada por razón de incremento de la señal con el incremento en la concentración. El término independiente corresponde a la señal que produce el analito en la muestra. La extrapolación del comportamiento de ese juego de datos al punto de absorbancia cero permite calcular la concentración del analito en la muestra.

## Capítulo VI.

### Parte Experimental

#### Reactivos:

HNO<sub>3</sub> suprapuro (70%) J.T. Backer

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%) J.T. Backer

NaBH<sub>4</sub> Merck

NaOH Mallinckrodt Specially Chemical Co.

KMnO<sub>4</sub>

Agua destilada desionizada.

#### Material:

mortero

pipetas volumétricas

vasos de precipitado

tubos de ensayo

vidrios de reloj

vasos del generador de hidruros

matraces aforados

micropipetas Eppendorf

puntas para micropipetas y material común de laboratorio

#### Equipo:

Balanza analítica Sartorius

Estufa Heraew GMBH HANAU

Horno de microondas. Perkin Elmer (PHPaar physica)

Método PARH001

EAA Perkin Elmer 2380

Generador de Hidruros. Perkin Elmer.

## Desarrollo de la metodología.

Para el desarrollo de este trabajo se decidió analizar muestras de consumo común en el Distrito Federal, para lo cual se compraron ostiones en distintas delegaciones de la zona metropolitana como: Azcapozalco, Tlalpan, Coyoacan y Xochimilco. En cada muestra comprada no se sabe la procedencia ya que el envase en el que fueron adquiridos no tiene ninguna etiqueta.

Para llevar a cabo este estudio lo primero que se hizo fue buscar en la bibliografía datos que permitieran conocer los componentes de los ostiones, de manera general (minerales 3.0%; calcio 0.8%; magnesio 0.1%) y los límites permisibles en alimentos para cada metal (Tabla 4).

Tabla 4. Límite Permissible<sup>32,33</sup>

<b>Metal</b>	<b>Límite permisible</b>
Cd (cadmio)	0.5 mg/Kg
Pb (plomo)	1 mg/Kg
Cr (cromo)	5 µg/Kg
Hg (mercurio)	1 µg/Kg

Se decidió utilizar la técnica de espectroscopia de absorción atómica para la cuantificación de los elementos mencionados y posteriormente se investigó respecto a los diferentes métodos de digestión de las muestras, los cuales fueron:

- 1) “Analysis of fish and seafood: wet digestion”<sup>35</sup>(análisis de pescado y mariscos: digestión húmeda): En este caso describen un procedimiento, donde la cantidad de muestra que se requiere es de

5g, además indican que es necesario someterlo a diferentes temperaturas de calentamiento por arriba de 100°, lo cual implica manejar muestras demasiado grandes.

- 2) “Analysis of fish and seafood: dry ashing procedure”<sup>35</sup> (análisis de pescado y mariscos: procedimiento de calcinado en seco): En este caso citan que se trabajó con temperaturas de 500° C, además de que el tiempo para realizar el proceso es muy largo con este método.
- 3) “Analysis dry procedure with microwave” (procedimiento de un análisis en seco con microondas): Se optó por usar este método, considerando que es el mejor por ser el más rápido, utilizar una menor cantidad de muestra y efectuarse en un sistema cerrado.

Los primeros dos métodos de digestión no se pudieron llevar a cabo para el análisis de Hg debido a las altas temperaturas (160° C y 500° C, respectivamente) utilizadas y por realizarse con sistemas abiertos. En cambio el tercer método tiene varias ventajas como son la poca cantidad de reactivos, menor temperatura (llega hasta 80° C), un tiempo corto de operación y utilizar un sistema cerrado..

Habiendo seleccionado el método de digestión se adquirieron los ostiones. Éstos se obtuvieron de distintas procedencias las cuales fueron mercado o supermercado, para verificar si hay diferencias.

Una vez comprados los ostiones, se iniciaron las pruebas preliminares se pusieron en vaso de precipitado para posteriormente introducirlo en una estufa a una temperatura de 60° C aproximadamente (debido a que el Hg puede volatilizarse fácilmente) hasta que éstos estuvieron a un peso constante (así se encuentran secos, sin agua).

Se sacaron de la estufa y se trituraron hasta pulverizarlos, para posteriormente llevar a cabo el método de digestión en el horno de microondas:

- a) Se pesaron 0.4 g de ostiones (secos) en el vaso para microondas
- b) Se agregaron 4 ml de  $\text{HNO}_3$
- c) Se agregaron 2 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$
- d) Se colocaron en el horno de microondas y se programó para digerir ostiones.

Ya digeridos se trasvasaron las muestras y llevaron al aforo a 10 mL con agua destilada desionizada y se prepararon tres estándares de concentraciones conocidas de cada metal en estudio. Como estudio preliminar se digirieron muestras con diferente cantidad de reactivos para observar si se lograba concentrar la solución y así el análisis de las muestras era más sencillo.

En el EAA se pusieron las condiciones necesarias de operación para analizar las muestras (longitud de onda, ancho de banda y el tipo de flama específica) y optimizar el método.

Se hizo una relación de la concentración del estándar (conocida) con las absorbancias de la muestra para así conocer las concentraciones aproximadas para cada metal y luego preparar las curvas de calibración adecuadas.

En el caso del análisis de Hg, éste se llevó a cabo mediante el método de Espectrometría de Absorción Atómica por generación de vapor frío.

En este caso después de digerida la muestra se llevó al aforo (10mL) con agua destilada desionizada. Se utilizó NaOH 1 M para disolver el  $\text{NaBH}_4$  (el cual debe estar al 3%), también se utilizó  $\text{HNO}_3$  al 1.5% para preparar los estándares así como blancos de calibración del instrumento, y por último se le agregó una gota de  $\text{KMnO}_4$  (este reactivo sirve para estabilizar la solución).

Primero se limpió el sistema con  $\text{HNO}_3$  al 1.5% (10 ml) y una gota de  $\text{KMnO}_4$  hasta obtener una absorbancia de cero. Se prepararon estándares de dos concentraciones distintas para tener una aproximación de la concentración de Hg en la muestra. Finalmente se puso el Espectrofotómetro en las condiciones adecuadas y se alineó la celda de cuarzo para leer las absorbancias y llevar a cabo la relación de la concentración de la muestra del mismo modo que con los otros tres metales.

Cada vez que se analizó una serie de muestras se prepararon tres curvas de calibración y se hizo el cálculo pertinente para cada muestra y obtener la concentración. Los cálculos realizados para las muestras son:

- A la absorbancia de la muestra se le restó la absorbancia del blanco del reactivo.
- Se hizo el promedio de las 3 absorbancias de cada muestra.
- Se obtuvieron las ecuaciones para las curvas de calibración y se usó la que tenía linealidad para obtener los resultados de las concentraciones para cada muestra.
- Se consideró el volumen del aforo y el peso de la muestra para dar la concentración del elemento por gramo de muestra en base seca.

Después de realizar las pruebas preliminares se realizaron curvas de calibración para conocer el intervalo lineal y observar si no hay interferencia de matriz. En la interferencia de matriz se utilizó una muestra a la cual se adicionó una concentración conocida del elemento en estudio y se comparó con la curva patrón, las curvas deben ser paralelas para que se niegue la presencia de alguna interferencia.

Para conocer el porcentaje de recuperación (o visto de otra manera, cuánto metal se pierde en el proceso) se sometió a las mismas condiciones de análisis una muestra adicionada con una concentración conocida del metal en

estudio para posteriormente realizar los cálculos pertinentes y conocer dicho porcentaje de recuperación.

Se efectuó la compra de los ostiones de distintos lugares, realizando los mismos pasos que con los ostiones prueba. Al realizar la curva patrón para cada elemento en estudio se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Intervalo lineal
- Interferencia de matriz
- Límite de detección
- Límite de cuantificación
- Ecuación de la recta
- Coeficiente de correlación

Con las concentraciones calculadas se trazó una curva patrón con cinco concentraciones distintas, que se encuentren dentro del intervalo lineal, en donde la señal de la muestra diera un valor dentro del intervalo de trabajo. Las muestras se analizaron bajo el siguiente procedimiento:

- . 4 mL  $\text{HNO}_3$  y 2 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$
- . 0.4 g de la muestra de ostión seco
- . se llevó al aforo de 10 mL con agua destilada desionizada

## Capítulo VII.

### Resultados

#### Pruebas preliminares.

Las absorbancias de los ostiones de prueba para los metales Pb, Cd y Cr bajo distintas condiciones (diferente cantidad de reactivo) son:

Tabla 5. Resultados prueba

Muestra	Reactivos	Peso (g)	Absorbancias		
			Pb	Cd	Cr
Blanco 1	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ,4ml HNO <sub>3</sub>		0.013	0.008	0.003
1	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ,4ml HNO <sub>3</sub>	0.40022	0.029	0.131	0.002
2	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ,4ml HNO <sub>3</sub>	0.4151	0.014	0.134	0.006
Blanco 2	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ,2ml HNO <sub>3</sub>		0.136	0.012	0.001
3*	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ,2ml HNO <sub>3</sub>	0.4177	0.133	0.291	0.009
4*	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ,2ml HNO <sub>3</sub>	0.4021	0.74	0.268	0.007
5*	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ,2ml HNO <sub>3</sub>	0.4002	0.029	0.113	0.001
6*	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ,2ml HNO <sub>3</sub>	0.3884	0.039	0.123	0.001
Estándar Pb Cd Cr	4 ppm, 0.75 ppm, 2 ppm		0.265	0.268	0.202

\* No se logró digestión total por lo que se toman los valores de las muestras 1 y 2 para estimar las concentraciones.

En el caso de las muestras con menor cantidad de reactivos no se logró digerir por completo la muestra, en algunos casos quedó residuo de materia prima en el vaso del horno de microondas.

Las absorbancias de los ostiones de prueba y los estándares para el Hg son:

- Estándares

Tabla 6. Estándar 5 µg/L

Estándar 5 µg/L	Absorbancia
1	0.063
2	0.094
3	0.091

Tabla 7. Estándar 10 µg/L

Estándar 10 µg/L	Absorbancia
1	0.215
2	0.177
3	0.171

- Muestras

Tabla 8. Resultados prueba.

Muestra	Reactivos	Peso (g)	Absorbancia
Blanco 3	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 4ml HNO <sub>3</sub>		0.047
7	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 4ml HNO <sub>3</sub>	0.40054	0.138
8	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 4ml HNO <sub>3</sub>	0.4003	0.136
9	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 4ml HNO <sub>3</sub>	0.4067	0.137
10	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 4ml HNO <sub>3</sub>	0.4027	0.133
11	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 4ml HNO <sub>3</sub>	0.4007	0.135
12	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 4ml HNO <sub>3</sub>	0.4077	0.138
13	2ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 4ml HNO <sub>3</sub>	0.4051	0.131

Los resultados del análisis de las muestras de prueba son:

Tabla 9. Resultados de concentración prueba.

Elemento	Estándar	Absorbancia de estándares	Concentración de muestra
Pb	4 ppm	0.265	0.242 mg/L
Cd	0.75 ppm	0.268	0.344 mg/L
Cr	2 ppm	0.202	0.03 mg/L
Hg	10 ppb	0.171	5 µg/L

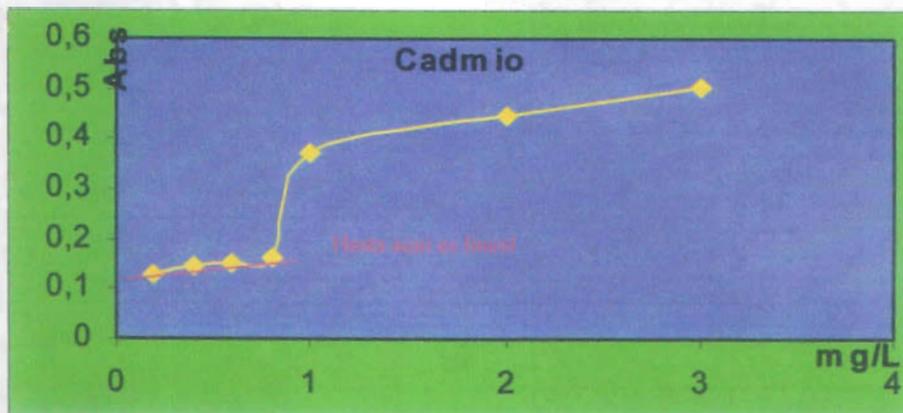
Los resultados del intervalo lineal son:

Cadmio

Tabla 10. Intervalo lineal para Cd

Concentración (mg/L)	Absorbancias
0.2	0.13
0.4	0.145
0.6	0.153
0.8	0.166
1	0.371
2	0.446
3	0.506

Gráfica 1. Intervalo Lineal de Cd

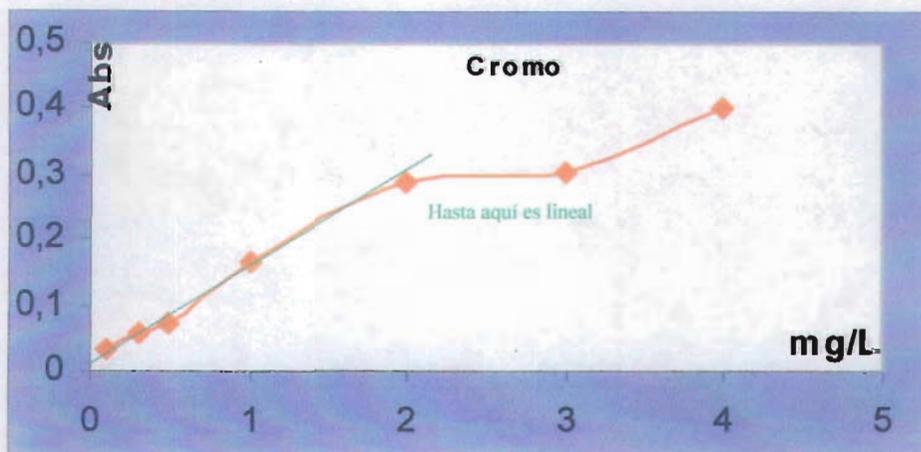


**Cromo**

Tabla 11. Intervalo lineal para Cr

Concentración mg/L	Absorbancias
0,1	0,036
0,3	0,057
0,5	0,074
1	0,168
2	0,287
3	0,302
4	0,401

Gráfica 2. Intervalo lineal de Cr.

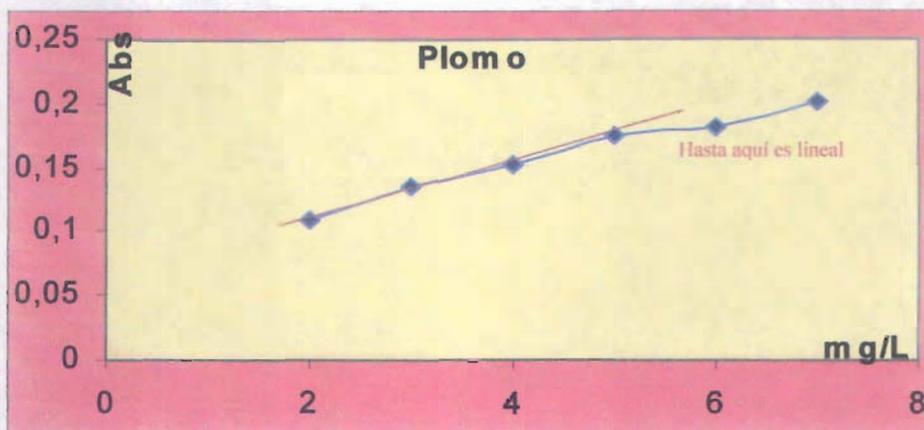


## Plomo

Tabla 12. Intervalo lineal para Pb

Concentración mg/L	Absorbancia
2	0.109
3	0.135
4	0.154
5	0.176
6	0.183
7	0.201

Gráfica 3. Linealidad de Pb



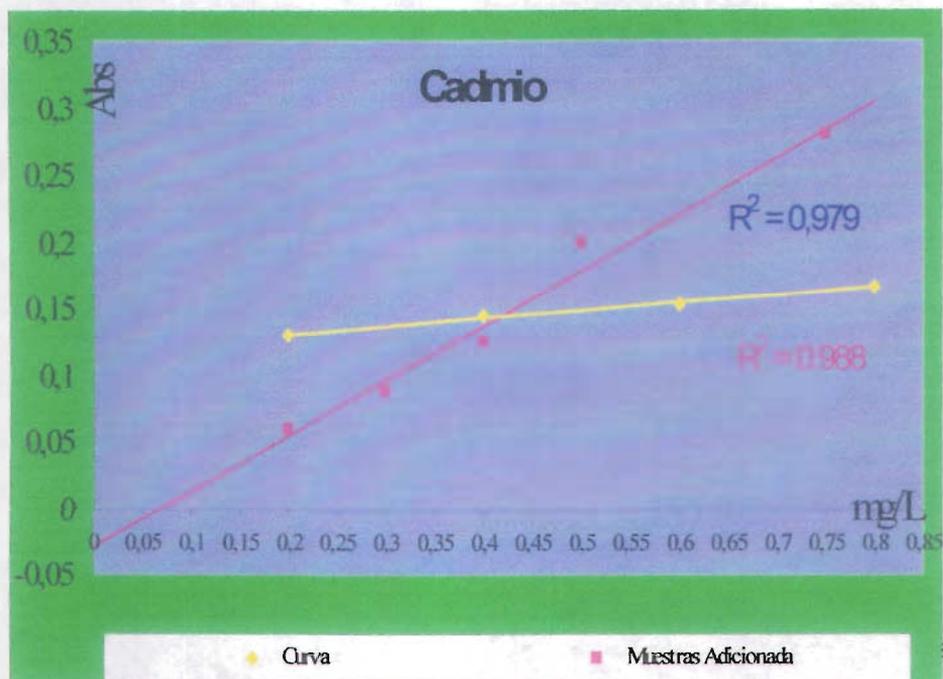
Al conocer el intervalo de linealidad para cada elemento en estudio, se realizaron las gráficas para saber si tiene interferencia de matriz. Los cuales fueron.

## Cadmio

Tabla 13. Interferencia de Matriz de Cd

Concentración mg/L	Intervalo Lineal	Muestras adicionadas
0.2	0.13	0.06
0.3		0.088
0.4	0.145	0.125
0.5		0.199
0.6	0.153	
0.75		0.279
0.8	0.166	

Gráfica 4. Interferencia de matriz en Cadmio



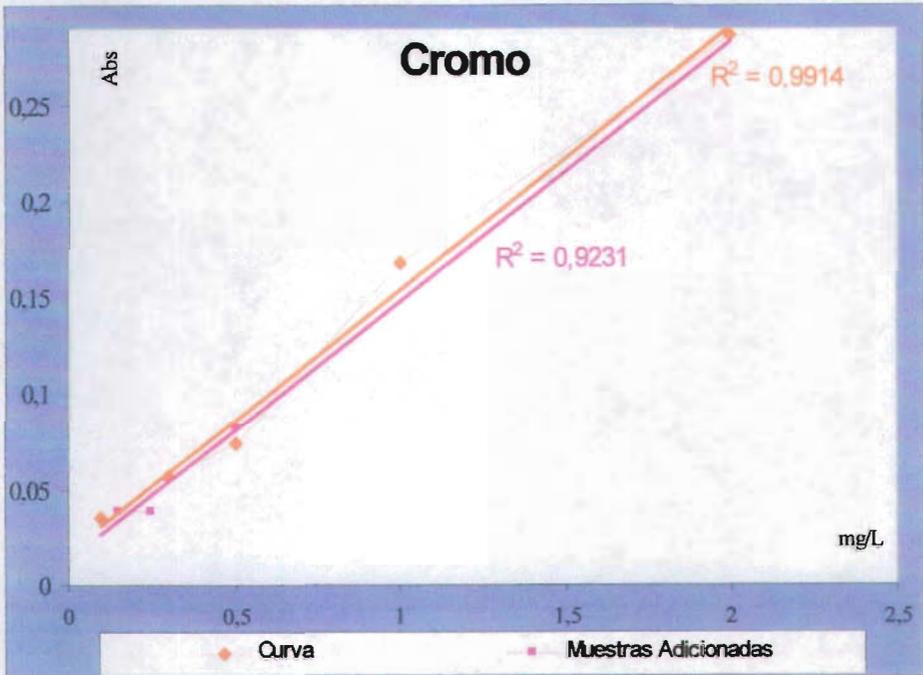
indica que existe una interferencia de matriz en este elemento.

## Cromo

Tabla 14. Interferencia de matriz de Cr

Concentración mg/L	Intervalo Lineal	Muestras adicionadas
0.1	0.036	
0.15		0.029
0.25		0.039
0.3	0.057	
0.5	0.074	0.083
1	0.168	
2	0.287	

Grafica 5. Intervalo de matriz en Cromo

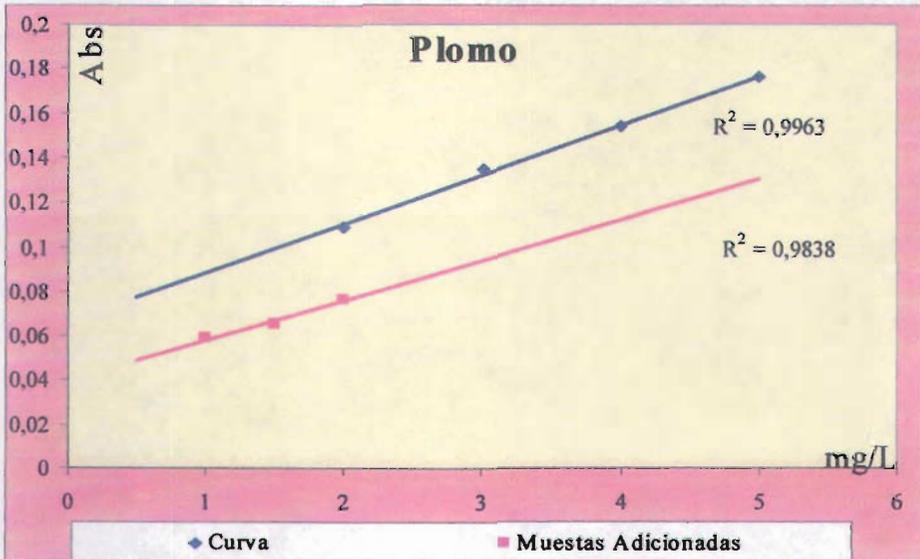


Plomo

Tabla 15. Interferencia de matriz de Pb

Concentración mg/L	Intervalo Lineal	Muestras adicionadas
1		0.059
1.5		0.066
2	0.109	0.077
3	0.135	
4	0.154	
5	0.176	

Gráfica 6. Interferencia de matriz en Pb



La(s) curva(s) de calibración(es) que se prepararon, de acuerdo con los resultados obtenidos de las muestras de prueba, son:

Tabla 16. Concentración de las curvas de calibración.

Estándar	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)	Hg (µg/L)
1	0.012 ppm	0.12 ppbn	4 ppb
2	0.05	0.2	8
3	0.07	0.4	12
4	0.09	0.6	16
5	0.1	0.8	20

Para cada uno de los elementos se trabajó en el intervalo lineal, se obtuvieron los límites de detección y cuantificación\*, el porcentaje de recuperación y con las curvas de calibración se calcularon las concentraciones de las muestras.

\* se uso el programa de Distribución de absorbancias reducidas

## Resultados del trabajo experimental

### CROMO (Cr)

Tabla 17. Curvas de calibración de Cr

Concentración mg/L	Curva 4 Absorbancia	Curva 5 Absorbancia	Curva 6 Absorbancia	Curva 7 Absorbancia	Curva 8 Absorbancia	Curva 9 Absorbancia
0.012	0.001	0.001	0.002	0.004	0.004	0.003
0.05	0.007	0.006	0.007	0.01	0.01	0.01
0.07	0.01	0.008	0.009	0.012	0.012	0.012
0.09	0.012	0.012	0.011	0.015	0.015	0.015
0.1	0.014	0.013	0.012	0.016	0.016	0.017

Límite de detección (LDD): 0.009 mg/L

Límite de cuantificación (LDC): 0.029 mg/L

Gráfica 7. Curva de calibración de Cr

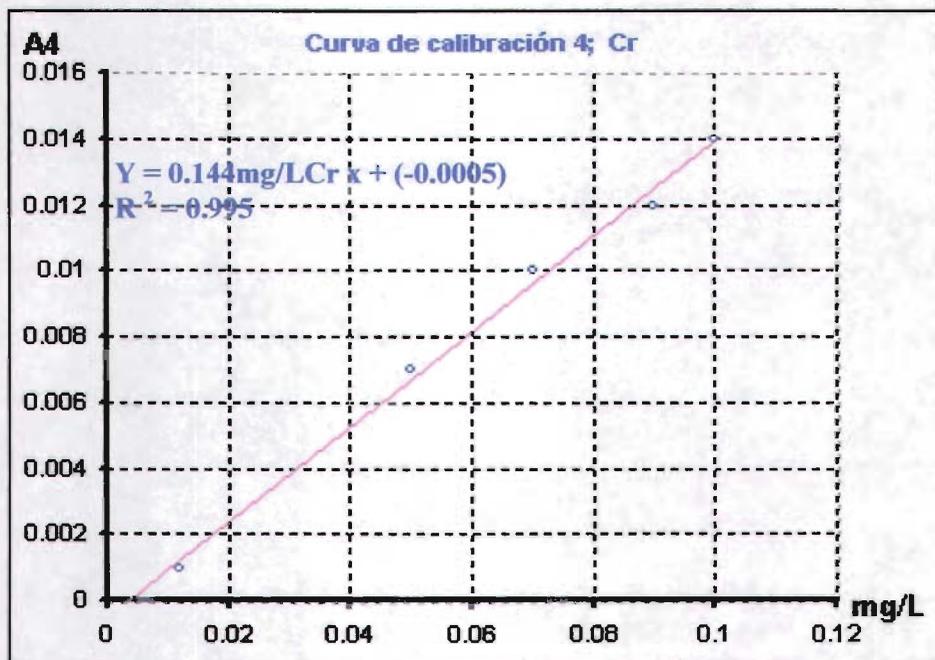


Tabla 18. Resultados de las concentraciones para Cr.

Muestra	Peso (g)	Abs	Concentración mg/L	Concentración mg/Kg
Comercial Mexicana (Prado Coapa)	Blanco	0		
	0.414	0.007	0,045	1,087
	0.391	0.004	0,024	0,619
	0.408	0.008	0,052	1,272
Promedio			0,048	0.993 <sup>Cr</sup>
Mega Comercial (Tec. Monterrey)	Blanco	0.004		
	0.409	0.006	0,010	0,254
	0.403	0.006	0,010	0,258
	0.398	0.006	0,010	0,261
Promedio			0,010	0.258 <sup>Cr</sup>
Mega Comercial (adición 0.07 mg/L)	Blanco	0.001		
	0.406	0.005	0,024	0,596
	0.403	0.005	0,024	0,601
Promedio			0,024	0.598 <sup>Cr</sup>
Bodega Comercial (Xochimilco)	Blanco	0.002		
	0.403	0.006	0,024	0,601
	0.400	0.007	0,031	0,78
	0.407	0.009	0,045	1,106
Promedio			0,038	0.828 <sup>Cr</sup>
Bodega Comercial (adición 0.07 mg/L)	Blanco	0.001		
	0.407	0.012	0,073	1,786
	0.406	0.012	0,073	1,791
Promedio			0,073	1.788 <sup>Cr</sup>
Gigante (Taxqueña)	Blanco	0.002		
	0.419	0.014	0,081	1,924
	0.414	0.013	0,073	1,771
	0.402	0.014	0,081	2,005
Promedio			0,078	1.9 <sup>Cr</sup>
Mercado Azcapozalco	Blanco	0.002		
	0.418	0.010	0,052	1,232

	0.414	0.008	0,037	0,894
	0.402	0.007	0,030	0,741
Promedio			0,040	0.955 <sup>Cr</sup>
Mercado	Blanco	0.001		
Azcapozalco (adición 0.07 mg/L)	0.402	0.012	0,073	1,823
	0.412	0.012	0,073	1,779
Promedio			0,073	1.801 <sup>Cr</sup>
Mercado Xochimilco	Blanco	0.003		
	0.403	0.009	0,037	0,918
	0.415	0.008	0,030	0,718
	0.408	0.009	0,037	0,907
Promedio			0,035	0.848 <sup>Cr</sup>
Comercial Mexicana (Miramontes)	Blanco	0.003		
	0.402 g	0.006	0,019	0,463
	0.390	0.006	0,019	0,463
	0.413	0.006	0,019	0,463
Promedio			0,019	0.463 <sup>Cr</sup>
Mercado (San Gregorio)	Blanco	0		
	0.403	0.006	0,045	1,122
	0.398	0.006	0,045	1,122
	0.402	0.004	0,023	0,684
Promedio			0,046	2.928 <sup>Cr</sup>
Walmart (Acoxpa)	Blanco	0.005		
	0.414	0.017	0,069	1,669
	0.403	0.011	0,025	0,620
	0.403	0.012	0,032	0,804
Promedio			0,029	1.031 <sup>Cr</sup>
Mercado de Coyoacán	Blanco	0		
	0.400	0.005	0,018	4,425
	0.411	0.004	0,010	0,251
	0.400	0.005	0,018	0,443
Promedio			0,015	1.706 <sup>Cr</sup>
Walmart (Miguel A. Quevedo)	Blanco	0		
	0.399	0.006	0,025	0,627

	0.406	0.005	0,018	0,436
	0.407	0.006	0,025	0,615
Promedio			0,023	0.559 <sup>Cr</sup>
Mercado de Huichpann	Blanco	0		
	0.398	0.014	0,084	2,106
	0.408	0.010	0,055	1,333
	0.409	0.010	0,055	1,330
Promedio			0,064	1.59 <sup>Cr</sup>
Gigante (Miramontes)	Blanco	0		
	0.406	0.004	0,016	0,399
	0.406	0.005	0,023	0,559
	0.397	0.005	0,023	0,572
Promedio			0,021	0.51 <sup>Cr</sup>
Gigante (Acoxpa)	Blanco	0		
	0.418	0.004	0,016	0,388
	0.420	0.002	0,003	0,076
	0.406	0.005	0,023	0,559
Promedio			0,020	0.341 <sup>Cr</sup>
Gigante (Viga)	Blanco	0.001		
	0.417	0.005	0,016	0,389
	0.402	0.010	0,049	1,211
	0.404	0.008	0,036	0,884
Promedio			0,042	0.828 <sup>Cr</sup>

<sup>Cr</sup> Sobre pasan el límite permisible reportado en la tabla 4

## PLOMO (Pb)

Tabla 19. Curvas de calibración para Pb

Concentración mg/L	Curva 1 Absorbancia	Curva 2 Absorbancia	Curva 4 Absorbancia	Curva 6 Absorbancia	Curva 7 Absorbancia	Curva 10 Absorbancia
0.12*	0.005	0.004	0.004	0.007	0.003	0.005
0.2	0.006	0.006	0.007	0.009	0.004	0.006
0.4	0.01	0.009	0.012	0.014	0.007	0.011
0.6	0.015	0.014	0.017	0.018	0.009	0.016
0.8	0.02	0.018	0.022	0.022	0.012	0.021

Límite de detección: 0.048 mg/L

Límite de cuantificación: 0.158 mg/L

Gráfica 8. Curva de calibración de Pb

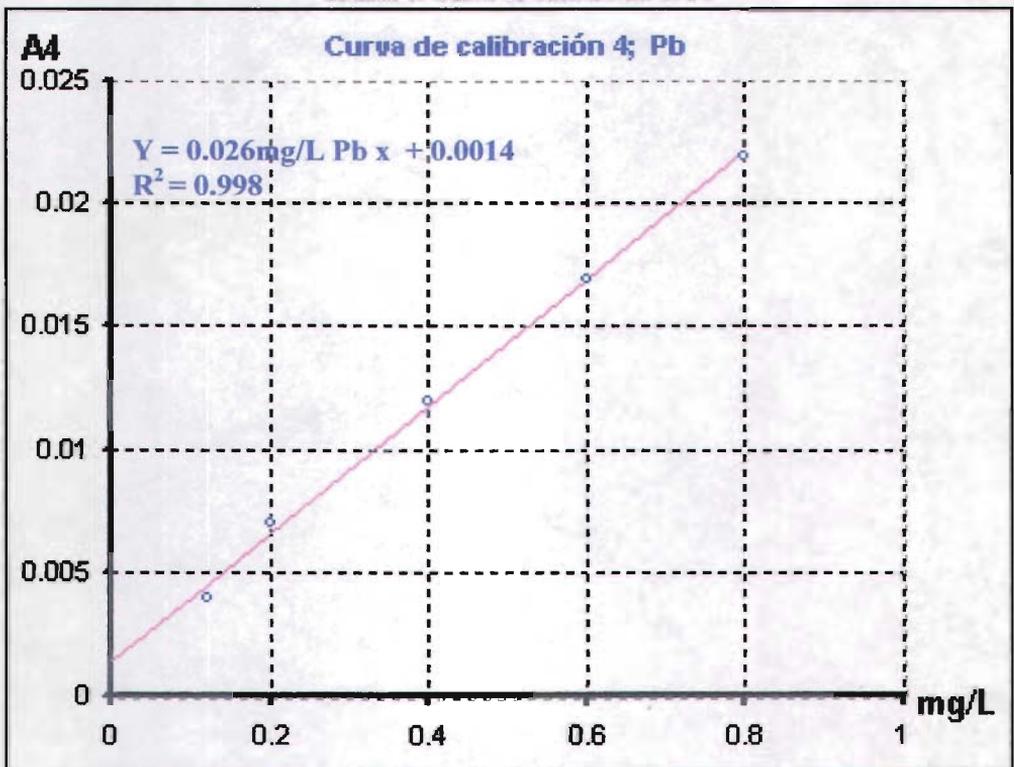


Tabla 20. Resultados de la concentración para Pb.

Muestra	Peso	Abs	Concentración mg/L	Concentración mg/Kg
Walmart (Acoxpa)	Blanco	0.001		
	0.414	0.005	0,103*	2,487
	0.403	0.004	0,058*	1,439
	0.403	0.004	0,058*	1,439
Promedio			0,073*	1.788 <sup>Pb</sup>
Mercado de Huichpann	Blanco	0.001		
	0.398	0.005	0,103*	2,587
	0.408	0.005	0,103*	2,524
	0.409	0.005	0,103*	2,518
Promedio			0,103*	2.543 <sup>Pb</sup>
Mercado (Xochimilco)	Blanco	0		
	0.403	0.011	0,415	10,297
	0.415	0.011	0,415	10
	0.408	0.010	0,371	9,093
Promedio			0,400	9.797 <sup>Pb</sup>
Bodega Comercial (Xochimilco)	Blanco	0		
	0.403	0.008	0,26	6,451
	0.400	0.005	0,14*	3,5
	0.407	0.011	0,38	9,336
Promedio			0,3	6.429 <sup>Pb</sup>
Bodega Comercial (adición 0,2 mg/L)	Blanco	0.003		
	0.407	0.012	0,3	7,371
	0.406	0.012	0,3	7,389
Promedio			0,3	7.38 <sup>Pb</sup>
Gigante (Miramontes)	Blanco	0.001		
	0.406	0.004	0,06*	1,477
	0.406	0.003	ND	ND
	0.397	0.004	0,06*	1,511
Promedio			0,06*	1.494 <sup>Pb</sup>
Comercial Mexicana	Blanco	0		
	0.402 g	0.001	ND	ND

(Miramontes)	0.390	0.001	ND	ND
	0.413	0.001	ND	ND
Promedio			ND	ND
Comercial Mexicana (Prado Coapa)	Blanco	0.006		
	0.414	0.008	ND	ND
	0.391	0.009	0,062*	1,585
	0.408	0.010	0,1*	2,450
Promedio			0,081*	2.018 <sup>Pb</sup>
Gigante (Taxqueña)	Blanco	0		
	0.419	0.002	ND	ND
	0.414	0.005	0,138*	3,333
	0.402	0.003	0,062*	1,542
Promedio			0,1*	2,438 <sup>Pb</sup>
Walmart (Miguel A. Quevedo)	Blanco	0.005		
	0.399	0.007	ND	ND
	0.406	0.007	ND	ND
Promedio			ND	ND
Mercado (San Gregorio)	Blanco	0		
	0.403	0.003	0,062*	1,538
	0.398	0.004	0,1*	2,512
	0.402	0.004	0,1*	2,487
Promedio			0,087*	2.179 <sup>Pb</sup>
Mercado de Coyoacán	Blanco	0.001		
	0.400	0.007	0,344	8,6
	0.411	0.008	0,420	10,218
	0.400	0.005	0,191	4,775
Promedio			0,382	7.864 <sup>Pb</sup>
Mercado Azcapozalco	Blanco	0.002		
	0.418	0.008	0,344	8,229
	0.414	0.009	0,420	10,144
	0.402	0.005	0,115	2,860
Promedio			0,344	7.077 <sup>Pb</sup>
Mercado Azcapozalco (adición 0,2 mg/L)	Blanco	0.003		
	0.406	0.009	0,344	8,472
	0.403	0.009	0,344	8,535

Promedio			0,344	8.504 <sup>Pb</sup>
Mega Comercial (Tec. Monterrey)	Blanco	0		
	0.409	0.003	0,058*	1,418
	0.403	0.003	0,058*	1,439
	0.398	0.003	0,058*	1,457
Promedio			0,058*	1.438 <sup>Pb</sup>
Mega Comercial (adición 0,2 mg/L)	Blanco	0.003		
	0.402	0.006	0,058*	1,442
	0.412	0.006	0,058*	1,407
Promedio			0,058*	1.425 <sup>Pb</sup>
Gigante (Acoxpa)	Blanco	0.005		
	0.418	0.006	0,058*	1,387
	0.420	0.006	ND	ND
	0.406	0.007	ND	ND
Promedio			ND	ND
Gigante (Viga)	Blanco	0.003		
	0.417	0.006	0,058*	1,390
	0.402	0.008	0,142*	3,532
	0.404	0.009	0,183	4,529
Promedio			0,086	3.15 <sup>Pb</sup>

ND. No detectado por el equipo

\*entre el límite de detección y límite de cuantificación

<sup>Pb</sup> Sobre pasan el límite permisible reportado en la tabla 4

## Mercurio (Hg)

Tabla 21. Curvas de calibración para Hg.

Concentración µg/L	Curva 2 Absorbancia	Curva 5 Absorbancia	Curva 6 Absorbancia	Curva 7 Absorbancia	Curva 8 Absorbancia	Curva 9 Absorbancia	Curva 10 Absorbancia
4	0.149	0.173	0.128	0.158	0.134	0.122	0.163
8	0.157	0.186	0.162	0.173	0.158	0.163	0.188
12	0.164	0.195	0.186	0.185	0.173	0.191	0.207
16	0.175	0.209	0.214	0.203	0.19	0.225	0.226
20	0.185	0.219	0.253	0.223	0.215	0.256	0.245

Límite de detección (LDD): 1.051 µg/L

Límite de cuantificación (LDC): 3.504 µg/L

Gráfica 9. Curva de calibración de Hg.

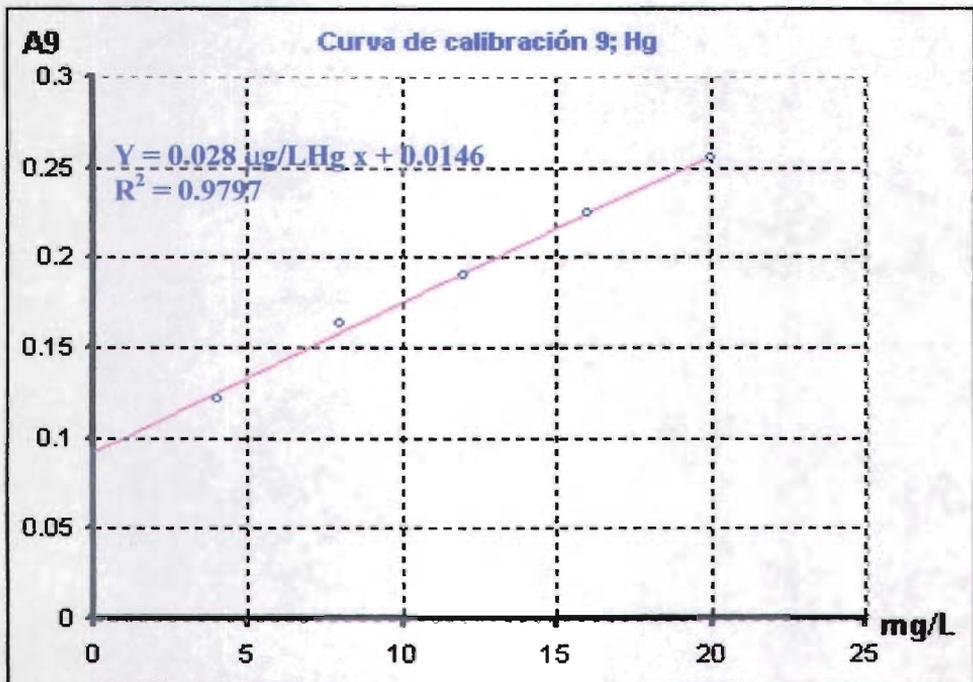


Tabla 22. Resultados de concentraciones para Hg.

Muestra	Peso	Abs	Concentración µg/L	Concentración µg/Kg
Bodega	Blanco	0.121		
Comercial (Xochimilco)	0.408	0.162	ND	ND
	0.409	0.156	ND	ND
	0.445	0.162	ND	ND
Promedio			ND	ND
Bodega	Blanco	0.088		
Comercial (adición 5 µg/L)	0.4042	0.261	4,078	100,89
	0.4026	0.224	3,203*	79,558
	0.4021	0.255	3,936	97,886
Promedio			3,739	92,778 <sup>Hg</sup>
Walmart	Blanco	0.079		
(Acoxpa)	0.430	0.089	ND	ND
	0.401	0.098	ND	ND
	0.418	0.203	2,920*	69,857
Promedio			ND	ND
Gigante (Acoxpa)	Blanco	0.007		
	0.425	0.061	1,111*	26,141
	0.413	0.099	1,901*	46,029
	0.408	0.047	ND	ND
Promedio			1,506*	36,085 <sup>Hg</sup>
Mercado	Blanco	0.098		
(San Gregorio)	0.401	0.286	3,897	97,182
	0.431	0.268	3,522	81,717
	0.404	0.230	2,732*	67,624
Promedio			3,384*	82,174 <sup>Hg</sup>
Comercial	Blanco	0.019		
Mexicana (Miramontes)	0.400	0.061	ND	ND
	0.405	0.072	1,091*	26,938
	0.435	0.094	1,550*	35,632
Promedio			1,321*	31,285 <sup>Hg</sup>
Gigante	Blanco	0.005		
(Miramontes)	0.405	0.068	1,3*	32,099
	0.412	0.080	1,55*	37,621

	0.402	0.083	1,612*	40,1
Promedio			1,487*	36,607 <sup>Hg</sup>
Mega Comercial (Tec. Monterrey)	Blanco	0.026		
	0.403	0.090	1,496*	37,122
	0.401	0.088	1,449*	36,135
	0.408	0.083	1,331*	32,623
Promedio			1,425*	35,293 <sup>Hg</sup>
Mega Comercial (adición 5 µg/L)	Blanco	0.088		
	0.4077	0.079	ND	ND
	0.3983	0.180	2,156*	54,130
	0.4131	0.192	2,439*	59,041
Promedio			2,297*	56,586 <sup>Hg</sup>
Gigante (Viga)	Blanco	0.026		
	0.401	0.070	ND	ND
	0.403	0.095	1,614*	40,05
	0.408	0.095	1,614*	39,559
Promedio			1,614*	39,82 <sup>Hg</sup>
Mercado de Coyoacán	Blanco	0.015		
	0.404	0.063	ND	ND
	0.405	0.060	ND	ND
	0.435	0.072	1,175*	27,011
Promedio			ND	ND
Walmart (Miguel A. Quevedo)	Blanco	0.070		
	0.401	0.244	4,945	123,32
	0.418	0.227	4,460	106,699
	0.406	0.211	4,004	98,621
Promedio			4,47	109,547 <sup>Hg</sup>
Comercial Mexicana (Prado Coapa)	Blanco	0.040		
	0.408	0.070	1,057*	25,907
	0.428	0.071	1,093*	25,537
	0.407	0.061	ND	ND
Promedio			1,075*	25,722 <sup>Hg</sup>
Mercado de Huichpann	Blanco	0.070		
	0.403	0.103	1,164*	28,883
	0.428	0.102	1,128*	26,355

	0.403	0.169	3,521	87,37
Promedio			1,938*	47,536 <sup>Hg</sup>
Mercado	Blanco	0.012		
Azcapozalco	0.419	0.048	1,271*	30,334
	0.406	0.048	1,271*	31,305
	0.403	0.059	1,664*	41,290
Promedio			1,394*	34,31 <sup>Hg</sup>
Mercado	Blanco	0.088		
Azcapozalco (adición 5 µg/L)	0.4068	0.225	4,878	119,91
	0.4113	0.177	3,164*	76,927
	0.4129	0.231	5,093	123,36
Promedio			4,378	106,732 <sup>Hg</sup>
Mercado	Blanco	0.057		
(Xochimilco)	0.421	0.185	2,649*	62,922
	0.406	0.158	2,088*	51,429
	0.401	0.136	1,631*	40,673
Promedio			2,123*	51,675 <sup>Hg</sup>
Gigante	Blanco	0.037		
(Taxqueña)	0.407	0.216	4,053	99,582
	0.402	0.221	4,166	103,63
	0.414	0.250	4,826	116,57
Promedio			4,348	106,594 <sup>Hg</sup>

ND: No detectado por el equipo

\*entre el límite de detección y límite de cuantificación

<sup>Hg</sup> Sobre pasan el límite permisible reportado en la tabla 4

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Porcentaje de recuperación fue obtenido:

Cromo (Cr)

Absorbancia de la muestra sin adición  $(0.006 - 0.004) = 0,002$

Absorbancia de la cantidad adicionada  $(0,002 - 0.001) = \underline{0,001} +$

$0,003 \rightarrow 100\%$

Absorbancia de la muestra adicionada  $(0,005 - 0,001) = 0,004 \rightarrow X$

$X = 133.3 \%$

Absorbancia de la muestra sin adición  $(0,008 - 0,002) = 0,006$

Absorbancia de la cantidad adicionada  $(0,002 - 0.001) = \underline{0,001} +$

$0,007 \rightarrow$

100%

Absorbancia de la muestra adicionada  $(0,012 - 0,001) = 0,011 \rightarrow X$

$X = 157.1 \%$

Promedio de los resultados: 145.2



Mercurio (Hg)

Absorbancia de la muestra sin adición  $(0,087 - 0,026) = 0,061$

Absorbancia de la cantidad adicionada  $(0,169 - 0,088) = \underline{0,081} +$   
 $0,142 \rightarrow 100\%$

Absorbancia de la muestra adicionada  $(0,150 - 0,088) = 0,062 \rightarrow X$

$$X = 43.7 \%$$

Absorbancia de la muestra sin adición  $(0,052 - 0,012) = 0,04$

Absorbancia de la cantidad adicionada  $(0,169 - 0,088) = \underline{0,081} +$   
 $0,121 \rightarrow 100\%$

Absorbancia de la muestra adicionada  $(0,211 - 0,088) = 0,123 \rightarrow X$

$$X = 101.7 \%$$

Promedio de los resultados: 72.7 %

## Capítulo VIII.

### Análisis de Resultados

Las metodologías expuestas en el principio del desarrollo de la metodología<sup>35</sup> son con base en una digestión con mezclas de ácidos y en parrilla. Al observar que las primeras dos metodologías se realizan en un sistema abierto, donde existe una gran posibilidad de pérdida de los elementos en estudio debido a las temperaturas elevadas a las que deben ser sometidas las muestras; y tomando en consideración que en el laboratorio hay un horno de microondas, se optó por usar el método con el equipo de microondas para poder llevar a cabo el estudio planteado desde un inicio.

Los reactivos que se utilizaron fueron los de mayor pureza para evitar que hubiera alguna contaminación con los elementos traza que pudieran tener dichos reactivos. Debido a que en el caso del Pb y Cr fue donde se encontró más problema al leer las muestras en el equipo de EAA se utilizó HNO<sub>3</sub> suprapuro al 70%.

Las gráficas 1, 2 y 3 nos ayudaron a observar si existe alguna interferencia de matriz. En el caso de Cd no existen las rectas paralelas, se cruzan y nos indica que existe interferencia en el estudio de este elemento. En el caso del Cr las rectas son paralelas, este elemento si esta en optimas condiciones de estudio pues no presenta interferencia de matriz. El Pb en el intervalo (0.1 – 0.8) en el que se trabajó, independientemente de que hay cierta influencia de la matriz, las muestras presentan concentraciones en la cual la interferencia es despreciable. En el caso de Hg debido a que se trabajo por vapor frío no presenta interferencia de matriz pues todo lo que reacciona es lo que el equipo detecta (no quedan residuos de muestra).

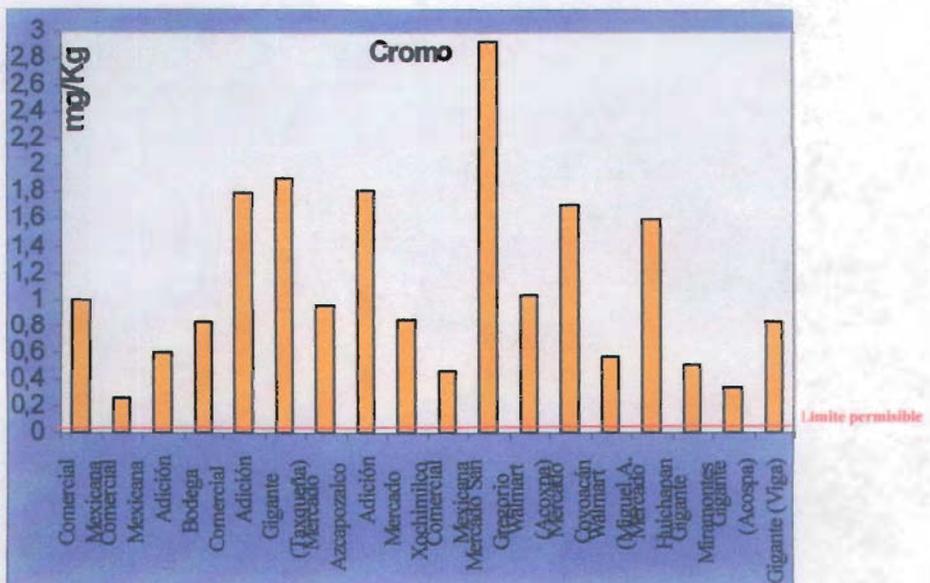
En el caso del Cd no se realizó el estudio debido a que presentó una interferencia de matriz (gráfica 4). Este elemento se pudo estudiar bajo otras condiciones como una adición patrón a las muestras para obtener en

la gráfica una línea paralela, pues al comparar la muestra directamente en la curva de calibración se obtuvo un resultado negativo.

Las concentraciones obtenidas en cada muestra y para cada elemento fueron comparadas con las concentraciones reportadas en la Tabla 4 para saber si cumplen con la norma de consumo.

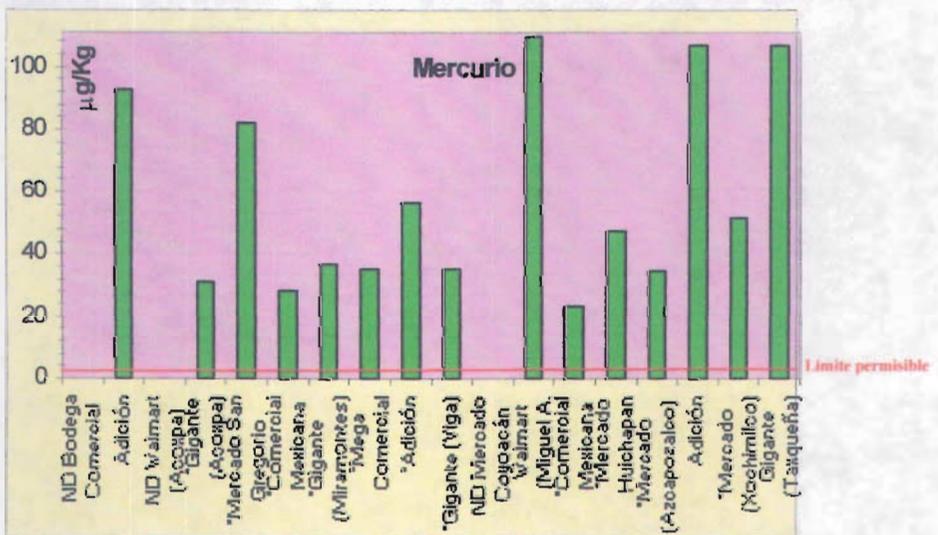
La gráfica 10 muestra los resultados del Cr para cada muestra analizada, todos estos resultados sobrepasan el límite de cuantificación, es decir, que los datos son cuantitativos (son confiables) y con base en ésto se observa que todas las muestras sobre pasan el límite permisible (tabla 4). La muestra que tiene una mayor cantidad de este elemento es la del Mercado de San Gregorio, lugar popular de alto consumo. Este elemento es uno de los más tóxicos por sus diferentes grados de oxidación que puede tener (Cr III o Cr VI, siendo peor el segundo).

Gráfica 10. Comparación de resultados para Cr



El Hg es, al igual que el Cr, un elemento altamente tóxico. La gráfica 11 presenta los resultados de las muestras analizadas. La mayoría (los que tienen \*) no sobrepasan el límite de cuantificación, son resultados cuantitativos (pero con cierto grado de incertidumbre) y existen sólo tres casos en los que el equipo no pudo detectar la presencia de dicho elemento. Existen casos en los que los datos si sobrepasan el límite de cuantificación y con concentraciones muy elevadas. A pesar de que algunas muestras no sobrepasan el límite descrito anteriormente existe un alto índice de concentración que sobrepasa con exceso el límite permisible (tabla 4).

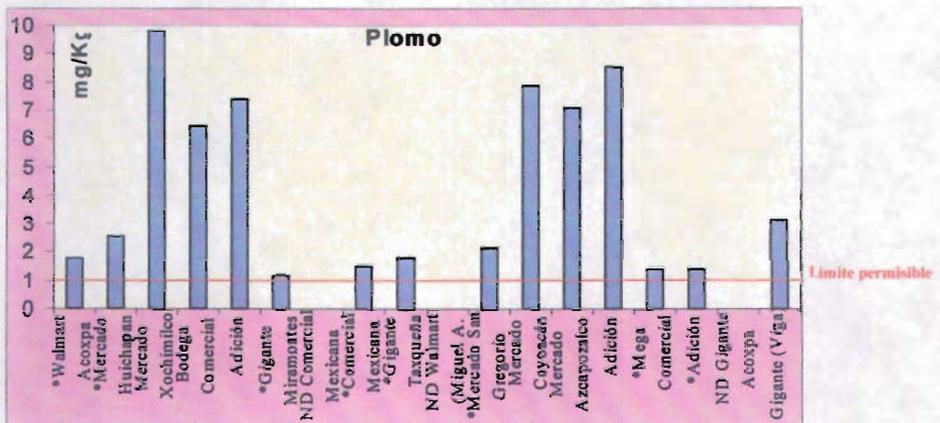
Gráfica 11. Comparación de resultados para Hg.



El elemento Pb no es de alta toxicidad en comparación con Hg y Cr. Existen muestras (gráfica 12) en las que el equipo no pudo detectar la presencia de este elemento con todo y que se utilizaron reactivos de alta pureza. Sin embargo tres muestras son las únicas que no sobrepasan el límite permisible (tabla 4), pero algunas de las demás que han sido

detectadas por el equipo de AA tienen resultados que no sobrepasan el límite de cuantificación sin embargo todas éstas sobrepasan el límite permitido.

Gráfica 12. Comparación de resultados para Pb.



Las muestras adicionadas ayudaron a observar qué cantidad del elemento en estudio se recupera durante la manipulación antes de ser analizada. Los resultados de las muestras adicionadas para obtener el porcentaje de recuperación son:

Tabla 23. Porcentaje de recuperación.

Elemento	% Recuperación
Pb	110.8
Cr	145.2
Hg	72.7

La tabla 23 muestra el porcentaje de recuperación de la cantidad adicionada a cada elemento en estudio. Como se observa el elemento que más se pierde es el Hg debido a que se trabajó en  $\mu\text{g/L}$  y a su volatilidad.

Tomando en consideración que se trabajó con disoluciones de concentraciones en  $\text{mg/L}$  y  $\mu\text{g/L}$ , se observan porcentajes de recuperación bajos, pero que son aceptables a esos niveles.

## Capítulo IX.

### Conclusiones

La elevada contaminación de los ríos, lagos, lagunas y mares es causada por el hombre, el cual afecta a la vida acuática. En el caso de los ostiones es un tipo de molusco muy utilizado por los científicos por ser filtro del mar. El estudio de este tipo de moluscos ayuda a saber las condiciones bajo las que se encuentra su ecosistema.

Los ostiones son de gran consumo por los seres humanos. El delicado estado de composición de este tipo de productos puede llegar a afectar en gran medida a la salud de quien lo consuma.

La metodología utilizada para el tratamiento de la muestra es totalmente diferente a la empleada en diversas investigaciones, como lo es la parrilla a altas temperaturas. En este caso se ocupó el horno de microondas, con el cual la probabilidad de pérdida es menor.

En las muestras de ostiones analizadas se encontraron trazas de Hg, Pb y Cr. Al observar que si se logró detectar los elementos deseados en los ensayos preliminares, se realizó la compra en centros comerciales y en lugares de alto consumo como son los mercados populares o mercados sobre ruedas.

Los resultados obtenidos son muy importantes ya que 2 de los 3 elementos en estudio son de gran toxicidad y se encuentran en mayor concentración. Estos elementos son:

- El Cr. Independientemente de que existe cromo con diferentes grados de oxidación, los cuales son Cr (III) y Cr(VI), con la EAA se determina el cromo total. Este estudio muestra la cantidad (concentración en mg/L) de cromo que contienen los ostiones analizados y que para todas las muestras sobrepasa el límite que marca

la norma. Este elemento tiene la importancia de que puede llegar a ocasionar enfermedades letales como son el cáncer y mutaciones en el ADN.

- El Hg. Es un elemento que puede reaccionar, es decir, después de ser desechado el Hg metálico al estar en presencia de sustancias orgánicas del medio, cierto tiempo cambia a CH<sub>3</sub>Hg (metil mercurio). Este último es más fácil de asimilar para el organismo por eso es que se acumula. Este estudio no puede diferenciar que tipo de Hg es el que se logra detectar, solo muestra la cantidad total (concentración en mg/L) que está presente en este producto alimenticio. Este elemento puede causar una enfermedad letal como es la atexia.

Cabe mencionar que las concentraciones de Pb, Cr y Hg sobrepasan el límite permisible reportado en la Norma<sup>42,43</sup> investigada (tabla 4). Ésto indica que el control de calidad realizado en México a este tipo de productos es nulo; eso se nota, desde el inicio de la investigación bibliográfica, al observar que no hay normatividad mexicana.

El conocer las concentraciones de metales tóxicos (Cr, Pb, Hg) en los ostiones permite ver el daño tan grande que se está causando al medio ambiente y en este caso repercute al final en la salud al consumir este producto.

Es importante conocer los niveles de concentración de las sustancias tóxicas, pero es más importante buscar la fuente de contaminación para evitarla y eso se logrará hacer conciencia en los industriales y en la población en general.

## Capítulo X.

### Glosario

- a) **Anglesita:** (del nombre de la isla de Anglesey, donde fue descubierta). Sulfato de plomo natural.
- b) **Blanco de calibración del instrumento:** es la solución del ácido usado como diluyente.
- c) **Blanco de reactivos:** es la solución que contiene todos los reactivos usados en los mismos volúmenes y concentraciones en el procesamiento de la muestra. Este blanco debe seguir los pasos de digestión y preparación de la muestra.
- d) **Calibración:** conjunto de operaciones que permiten establecer, en condiciones específicas, la relación existente entre los valores indicados por un sistema de medida, o los valores representados por una medida material o un material de referencia, y los valores correspondientes a una magnitud, obtenidos mediante un patrón de referencia.
- e) **Cerusita:** carbonato de plomo.
- f) **Dosis letal:** es la dosis requerida para causar la muerte con determinados especies de plantas y animales. Medidas en miligramos por kilogramo corporal.
- g) **Dosis tóxica o toxicidad:** se refiere cuando un producto produce daño al ser humano; puede tolerar ante que le produzca problemas, es lo que se le conoce como Límite permisible expresado en miligramos por litro de aire. La intoxicación puede ser vía respiratoria, vía dérmica y vía oral.

- h) **Ecosistema:** Conjunto de seres vivos que habitan en un biótomo. Conjunto de organismos vivientes que interaccionan con el medio ambiente.
- i) **Espectrometría,** es una rama de la espectroscopia relacionada con la medición de espectros.
- j) **Horno de reverbero:** el que sirve para calcinar minerales.
- k) **Galena:** mineral compuesto de azufre y plomo, de color gris y lustre intenso. Es la mejor mena del plomo.
- l) **Ley de Beer:** La proporcionalidad directa entre la absorción y la concentración cuando b es constante tiene desviaciones. Pueden ser debidas a tres causas: limitaciones reales de la ley, a desviaciones instrumentales como consecuencia de la forma en que medimos la absorbancia y a desviaciones químicas como resultado de cambios químicos ocasionados por variaciones de la concentración. ( $A=alc$ )
- m) **Límite de cuantificación (de un analito):** es la concentración por encima de la cual, pueden obtenerse resultados numéricos cuantitativos con un grado de confianza especificado.
- n) **Límite de detección (de un analito):** es la menor concentración de un analito, que se puede distinguir (o discernir) de una muestra en blanco con una confianza razonable. El límite de detección, expresado como una concentración CL (o una cantidad) se obtiene de la medida más pequeña, XL, que puede detectarse con una certeza razonable con un procedimiento analítico.
- o) **Linealidad/Función respuesta:** es la relación entre la concentración de analito y la respuesta del método. Esta relación, denominada comúnmente curva patrón o curva de calibración, no

tiene por qué ser lineal para que el método sea eficaz. Cuando no sea posible la linealidad para un método, se deberá encontrar un algoritmo adecuado.

- p) **Mena:** mineral metalífero, principalmente el de hierro, tal como se extrae del criadero y antes de limpiarlo.
- q) **Muestra:** en un sentido amplio, no es más que eso, una parte del todo que llamamos universo y que sirve para representarlo.
- r) **Muestreo:** acción de escoger muestras representativas de la calidad o condiciones medias de un todo. Selección de una pequeña parte estadísticamente determinada, utilizada para inferir el valor de una o varias características del conjunto.
- s) **Método de adiciones estándar,** es el que implica la preparación de estándares en la matriz de la muestra, añadiendo cantidades conocidas de un estándar a una o más alícuotas de la muestra y que compensa los efectos de exaltación o depresión de la señal del analito, pero no corrige interferencias aditivas que causan una desviación de la línea de base y en la cual los resultados obtenidos son válidos si:
  - t) **Estándar:** que sirve como tipo, modelo, norma, patrón o referencia.
- n) **Telangiectasia de Atexia:(Hg)** un desorden heredado asociado a un riesgo creciente del cáncer, especialmente linfoma, y caracterizado por inmunológico, chromosomal y defectos de la DNA.

## Capitulo XI.

### Bibliografía

1. American Association of Clinical Chemists. Standard Methods of Clinical Chemistry. (volumen IV) Academic press, 1963.
2. Analysis of fish and seafood. Pp. 1997-200.
3. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. 1971. The Perkin-Elmer, Corp-March. USA
4. BAUER J.D. Clinical laboratory methods.(8ª edición). The M.C. Mosby Co. Saint Louis, 1974.
5. BECERRA T.N. Determinación de los niveles de hidrocarburos en el ostión *Crassostera virginica* de la laguna de Términos, Campeche México. Tesis profesional Facultad de Ciencias UNAM México, D.F. 1984.
6. BOTELLO A., CALVA L. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in sediments from Pueblo Viejo Tamiahua and Tampamachoco Lagoon in the Southern Gulf of Mexico. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 60, 1998. Pp. 96-103.
7. BOTTELLO A.V., VILLANUEVA S.F., DIAZ G.G. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Salina Cruz Harbour and Coastal Areas, Oaxaca, Mexico. Marine Pollution Bulletin 36 (7) México, 1998. Pp. 554-558.
8. BRITTON J.C., MORTON B. Shore ecology of the gulf of Mexico University of Texas Press, Austin. E.U.A., 1989. Pp. 94-105.
9. BUCHAUR MJ. The effects of zinc and cadmium pollution on forest vegetation. New Jersey Acad. Sci. (17:2). Bull. U.S.A. 1972. Pp 42.

10. CALDERON H., GONZALEZ R., DURAN C. Plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos acuáticos del Lago de Catemaco, Veracruz, México. Revista internacional de contaminación ambiental 17. México, 2001. Pp. 23-30.
11. CASTRO G.S. Determinación de los niveles de hidrocarburos en sedimentos recientes y en el ostión *Crassostera virginica* de la laguna Michoacán, Tabasco, México. Tesis profesional Facultad de Ciencia. UMAN México, D. F. 1981.
12. Cervantes C, Moreno - Sánchez R, Cañizares-Villanueva O, Gutierrez- Corona F., Gonzáles - Moreno S, Devars S y Sosa Luna L (1999) Bioremediación de los desechos contaminados por metales pesados. En “Contaminación ambiental por metales pesados” Cervantes C y Moreno R. Eds. P117 – 153.
13. Cronquist A. Plantae. In Synopsis and Classification of Living Organisms, Vol. 1. McGraw-Hill, 1982:57
14. EDIPALMA J.R. Drill's Pharmacy in medicine. (4ª edición) McGraw Hill. 1974.
15. EISTER R. Cadmium hazards to fish, wildlife and invertebrates. A synoptic review. Department of the interior. Fish and wildlife service (Biological report 85) Washington, D. 1985.
16. Ensminger AH, Ensminger ME, Konlode JE, Robson JRK. Food & Nutrition Encyclopedia, 2nd ed. CRC Press, New York, 1993
17. Gesamp. IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP. Join group of experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution: Report of the fourteenth session. International Atomic Energy Agency (report and studies 21) Viena, marzo de 1984. Pp. 26-30.
18. GIAM C.S., LEE E.R. Pollutant Studies in Marine Animals. CRC Oress. E.U.A. Florida, 1987.

19. GILBERT T.R., HUME D.N. Improved apparatus for determination of Mercury by Flameless Atomic Absorption. Anal. Chis. Acta. 65. U.S.A. 1973. Pp. 63-461.
20. GONZALEZ E.C., BOTELLO A.V., DIAZ G. Presence of aliphatic hydrocarbons in sediments and organisms form Campeche Bank Mexico. Instituto de Ciencias del Mar y Limunología. U.N.A.M.
21. HARDISTY MW, HUGGINS RJ, KARTAR & SAINSBUTY M. Ecological implications of heavy metal in fish form the severn estuary. Mar Pollution(5). Bull. U.S.A, 1974. Pp. 12-15.
22. Himelblau E, et al. Identification of a functional homolog of the yeast copper homeostasis gene ATX1 from Arabidopsis. Plant Physiol 1998;117(4):1227-1234
23. [http://www.iespana.es/iesuribarr\\_i\\_es/ciclo/kepa/toxicidad.htm](http://www.iespana.es/iesuribarr_i_es/ciclo/kepa/toxicidad.htm)
24. HUTTON M. & SYMON C. The quantities of cadmium, lead, mercury and arsenic enter in the U. K. environment from human activities. Total Environ (57). U.S.A. 1986. Pp. 129-150.
25. INEGI. III Principales actividades humanas vinculadas con el medio ambiente “La industria química en México: 1997, 1998” Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México, D.F. 1999.
26. Kahn H.L. y Schallis J.E. 1968. Atomic Absorption Newsletter, Vol. 7, No. 5 (1968).
27. KEHOE R.A. Pharmacology ant toxicology of heavy metals: lead, pharmacy, thor. (volumen 1) 1976. Pp. 88-161.
28. Ming-Ho Yu (2000) Environmental Toxicology. Lewis. 255 p
29. NEFF J.M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. Sources, fales and biologicals effects. Applied Sciences Publishers Ltd. Londres, 1979.

30. NIRIAGU JO. & PACYNA JM. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature (333). London, 1998. Pp. 134-139.
31. NOREÑA E., GOLD G., ZAPATA O., SERICANO J. Polynuclear hydrocarbons in American oyster *Crassostrea virginica* from the Términos Lagoon, Campeche, Mexico. Marine Pollution Bulletin 38 (8). México, 1999. Pp. 637-645.
32. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-031-SSA1-1993, BIENES Y SERVICIOS. PRODUCTOS DE LA PESCA. MOLUSCOS BIVALVOS FRESCOS-REFRIGERADOS Y CONGELADOS. ESPECIFICACIONES SANITARIAS.  
(<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/031ssa13.html>)
33. Organización Mundial de la Salud (1986). International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 60. Principles and methods for the assessment of neurotoxicity associated with exposure to chemicals. World Health Organization, Geneva. Switzerland.
34. POMPA G.A. Biología: unidad, diversidad y continuidad de los seres vivos. CECSA (2ª edición) México, D.F. 1968.
35. Rouhi AM. Escorting metal ions: protein chaperone protects, guides, copper ions in transit. Chem Eng News, 1999;11:34-35
36. SEMARNAP. El sector pesquero en México: Anuario estadístico México 1997, 1998. México, D.F. 2004.
37. TRICKLEBANK K.A. Effect of organochlorines on the ultrastructure of the liver of the damselfish *Parma microlepis* from reefs in the New South Wales. Australia Marine Biology 136, 2000. Pp. 337-348.
38. UNDERWOOD E.J. Trace elements in human nutrition (4ª edición) Academic press. U.S.A. 1977.
39. VALCIUKAS J.A. ET. AL. Central Nervous System Dysfunction due to Lead exposure. Sciences 201, 1978. Pp. 67-465.

40. WADE T., KENNICUTT C., BROOKD J. Golf of Mexico hydrocarbons seep communities (Part III) Aromatic hydrocarbon concentrations in organisms sediments and water Marine Environmental Research 27, 1989. Pp. 19-30.
41. WILLARD H., ET. AL. Métodos instrumentales de Análisis. Ed. Continental (2ª edición). México, 1986.
42. [www.cremponceinter.edu](http://www.cremponceinter.edu)
43. YAMAGATA N. & SHIGEMATSU Y. Cadmium pollution in perspective. Inst. Public Health (24). Bull. Tokyo, 1970. Pp. 18-24.
44. Richard D. Beaty. Conceptos, instrumentos y técnicas de Espectrofotometría por AA. Perkin Elmer de México, S.A.
45. <http://es.wikipedia.org/wiki/CromatografÃ-a>
46. <http://www.perkinelmer.cl/notas/not02.asp>
47. [http://wwwprof.uniandes.edu.co/~infquimi/ANALISIS/aplica\\_espectrofotometria/index12.html](http://wwwprof.uniandes.edu.co/~infquimi/ANALISIS/aplica_espectrofotometria/index12.html)

## FIGURAS

Fig. 1 <http://www.esteio.com.br/imagens/mundo.jpg>

Fig. 2 Río. Jessica Prado en Chiapas.

Fig. 3 Catalá. Contaminación y conservación del medio ambiente. Madrid, 1986.

Fig.4 <http://www.ostionesdelpacifico.com/cultivo.html://www.ostionesdelpacifico.com/cultivo.html>

Fig. 5 Simmons I.G. Biología de los recursos naturales. Omega, Barcelona, 1982.

Fig. 6 <http://www.ostionesdelpacifico.com/cultivo.html://www.ostionesdelpacifico.com/cultivo.html>

Fig. 7 [http://lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/087/hm/sec\\_11.htm](http://lectura.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/087/hm/sec_11.htm)

Fig. 8 <http://www.ostionesdelpacifico.com/cultivo.html://www.ostionesdelpacifico.com/cultivo.html>

Fig. 9 Mickey Amador (Puerto Rico)

<http://cremc.ponce.inter.edu/manglares.htm>

Fig. 10 Mickey Amador (Puerto Rico)

<http://cremc.ponce.inter.edu/manglares.htm>

Fig. 11 <http://www.ostionesdelpacifico.com/cultivo.html>://[www.ostionesdelpacifico.com/cultivo.html](http://www.ostionesdelpacifico.com/cultivo.html)

Fig. 12 Hg <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica.htm>

Fig. 13 Cd <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica.htm>

Fig. 14 Pb <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica.htm>

Fig. 15 Cr <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica.htm>

Fig. 16 Quemadores antiguos.

<http://biblioweb.dgsea.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1991-2/articulo390.html>

Fig. 17. Sistema básico

Fig. 18 Dispositivo sencillo de un equipo de AA.

Fig. 19 Celda de cuarzo. Jessica. Laboratorio 103. Facultad de Química.

Fig. 20 Horno de grafito. Jessica. Laboratorio 103. Facultad de Química

Fig. 21 Quemador. Dra. Liliana Saldívar. Laboratorio 103. Facultad de Q.

Fig. 22 Jéssica. Laboratorio 103. Facultad de Química.

Fig. 23 Diagrama de un haz.

Fig. 24 Jéssica. Gráfica realizada como ejemplo.

## **Tablas**

Tabla 1 SEMARNAP. El sector pesquero en México: Anuario estadístico México 1997, 1998. México, D.F. 1999.

Tabla 2 EISTER R. Cadmium hazards to fish, wildlife and invertebrates. A synoptic review. Department of the interior. Fish and wildlife service (Biological report 85) Washington, D. 1985.

Tabla 3 [http://www.iespana.es/iesuribarr\\_i\\_es/ciclo/kepa/toxicidad.htm](http://www.iespana.es/iesuribarr_i_es/ciclo/kepa/toxicidad.htm)

Tabla 4 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-031-SSA1-1993, BIENES Y SERVICIOS. PRODUCTOS DE LA PESCA. MOLUSCOS BIVALVOS FRESCOS-REFRIGERADOS Y CONGELADOS. ESPECIFICACIONES SANITARIAS.

(<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/031ssa13.html>)

Tabla 5 Resultados de prueba para Cd, Cr, Pb.  
Tabla 6 Estándares de 5 mg/L de Hg  
Tabla 7 Estándares de 10 mg/L de Hg  
Tabla 8 Resultados prueba para Hg  
Tabla 9 Resultados de prueba para Hg  
Tabla 10 Intervalo lineal para Cd  
Tabla 11 Intervalo lineal para Cr  
Tabla 12 Intervalo lineal para Pb  
Tabla 13 Interferencia de matriz de Cd  
Tabla 14 Interferencia de matriz de Cr  
Tabla 15 Interferencia de matriz de Pb  
Tabla 16 Concentraciones para las curvas de calibración  
Tabla 17 Curvas de calibración para Cr  
Tabla 18 Resultados las concentraciones para Cr  
Tabla 19 Curvas de calibración para Pb  
Tabla 20 Resultados de concentraciones para Pb  
Tabla 21 Curvas de calibración para Hg  
Tabla 22 Resultados de las concentraciones para Hg  
Tabla 23 Porcentaje de Recuperación

## **Gráficas**

Grafica 1 Intervalo lineal de Cd  
Gráfica 2 Intervalo lineal de Cr  
Gráfica 3 Intervalo lineal de Pb  
Gráfica 4 Interferencia de matriz en Cd  
Grafica 5 Interferencia de matriz en Cr  
Gráfica 6 Interferencia de matriz en Pb  
Gráfica 7 Curva de calibración para Cr  
Gráfica 8 Curva de calibración para Pb

Gráfica 9 Curva de calibración para Hg

Gráfica 10 Comparación de resultados para Cr

Gráfica 11 Comparación de resultados para Hg

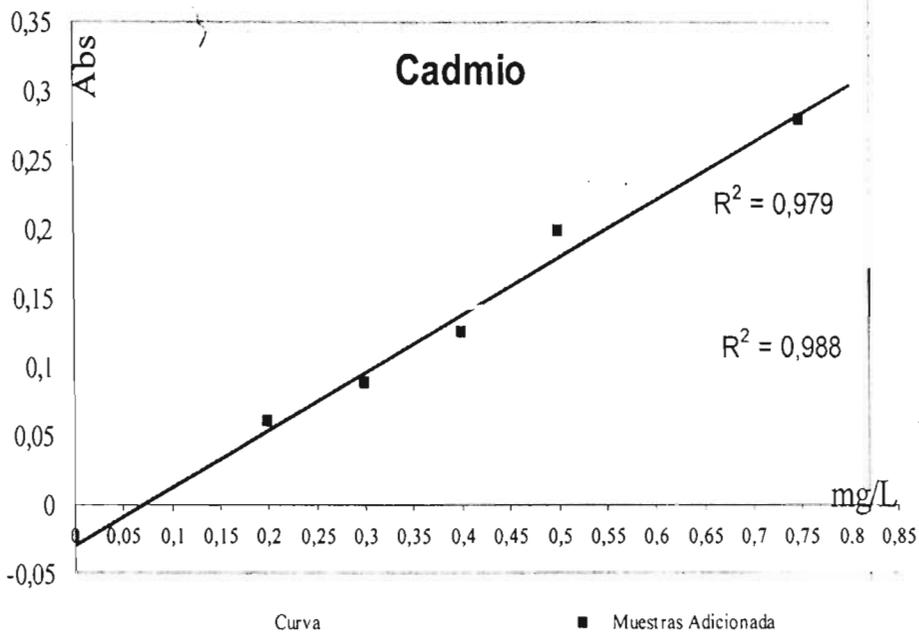
Gráfica 12 Comparación de resultados para Pb

FE DE ERRATA

Página 65.

Debe aparecer el primer renglón de la explicación de la gráfica en la parte de abajo.

Gráfica 4. Interferencia de matriz en Cadmio



En la gráfica 4 se observa como es que las líneas se cruzan, esto nos indica que existe una interferencia de matriz en este elemento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN