



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**

**SIMULACIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN EL  
LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
I N G E N I E R O Q U Í M I C O**

**P R E S E N T A**  
**ALEJANDRO ROSAS GARCÍA**

**MEXICO, D.F.**

**2008**

---





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.

## ÍNDICE

Lista de Figuras .....	3
Lista de Tablas .....	3
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Justificación .....	4
1.2 Resumen .....	5
1.3 Objetivos .....	6
1.4 Alcance .....	6
<b>2. AREA DE ESTUDIO</b>	
2.1 Bosque de San Juan de Aragón .....	7
2.2 Lago del Bosque .....	8
<b>3. METALES</b>	
3.1 Antecedentes de contaminación por metales .....	13
3.1.1 Contaminación del agua por metales .....	13
3.1.2 Toxicología de los metales pesados y su efecto en especies acuáticas.....	18
3.1.2.1 Arsénico .....	20
3.1.2.2 Cadmio .....	23
3.1.2.3 Cinc .....	24
3.1.2.4 Cobre .....	25
3.1.2.5 Cromo .....	26
3.1.2.6 Mercurio .....	29
3.1.2.7 Níquel .....	31
3.1.2.8 Plomo .....	33
<b>4. LEGISLACIÓN MEXICANA</b>	
4.1 LEYES .....	35
4.2 NOM .....	35
4.3 NMX .....	36
USEPA .....	36
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
5.1 Trabajo de campo .....	37
5.2 Determinación por EAA .....	39
5.2.1 Material .....	39
5.2.2 Metodología .....	41
5.3 Antecedentes del paquete Surfer 8 .....	47
<b>6. RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN</b>	
6.1 Resultados .....	49
6.2 Evaluación de los resultados .....	54
6.3 Aplicación del Surfer 8 .....	58
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1 Conclusiones .....	67
7.2 Recomendaciones .....	68
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	69
<b>GLOSARIO</b> .....	71
<b>ANEXO 1</b> .....	75



## Lista de Figuras

- Figura 2.1** Ubicación del Lago del Bosque de San Juan de Aragón  
**Figura 2.2** Lago del Bosque de San Juan de Aragón  
**Figura 2.3** Embarcadero del Lago del Bosque de San Juan de Aragón  
**Figura 2.4** Isletas del Lago del Bosque de San Juan de Aragón  
**Figura 2.5** Puente del Lago del Bosque de San Juan de Aragón  
**Figura 5.1** Medición de pH  
**Figura 5.2** Medición de Temperatura  
**Figura 5.3** Localización de los puntos donde se tomaron las muestras de agua del lago de Aragón  
**Figura 5.4** *Contenedores para los vasos de teflón*  
**Figura 5.5** *Digestor u Horno de microondas (Mars 5)*  
**Figura 5.6** *Espectrofotómetro (Perkin-Elmer 2380) con aditamento de generación de hidruros.*  
**Figura 5.7** *Espectrofotómetro (Perkin-Elmer AAnalyst 700) con aditamento de horno de grafito.*  
**Figura 6.1** Gráfica con las concentraciones de arsénico en 22 muestras de agua analizadas.  
**Figura 6.2** Gráfica con las concentraciones de cadmio en 22 muestras de agua analizadas.  
**Figura 6.3** Gráfica con las concentraciones de cinc en 22 muestras de agua analizadas.  
**Figura 6.4** Gráfica con las concentraciones de cromo en 22 muestras de agua analizadas.  
**Figura 6.5** Gráfica con las concentraciones de cobre en 22 muestras de agua analizadas.  
**Figura 6.6** Gráfica con las concentraciones de mercurio en 22 muestras de agua analizadas.  
**Figura 6.7** Gráfica con las concentraciones de níquel en 22 muestras de agua analizadas.  
**Figura 6.8** Gráfica con las concentraciones de plomo en 22 muestras de agua analizadas.  
**Figura 6.9** Distribución de concentraciones de arsénico en el Lago de San Juan de Aragón  
**Figura 6.10** Distribución de concentraciones de cadmio en el Lago de San Juan de Aragón  
**Figura 6.11** Distribución de concentraciones de cinc en el Lago de San Juan de Aragón  
**Figura 6.12** Distribución de concentraciones de cobre en el Lago de San Juan de Aragón  
**Figura 6.13** Distribución de concentraciones de cromo en el Lago de San Juan de Aragón  
**Figura 6.14** Distribución de concentraciones de mercurio en el Lago de San Juan de Aragón  
**Figura 6.15** Distribución de concentraciones de níquel en el Lago de San Juan de Aragón  
**Figura 6.16** Distribución de concentraciones de plomo en el Lago de San Juan de Aragón

## Lista de Tablas

- Tabla 2.1** Características generales de los lagos oligotróficos y eutróficos  
**Tabla 3.1** Efectos de los principales metales contaminantes del agua  
**Tabla 5.1** Datos del muestreo para la determinación de metales en el Lago de Aragón.  
**Tabla 6.1** Concentraciones de metales totales presentes en el lago de San Juan de Aragón  
**Tabla 6.2** Límites máximos permisibles para metales pesados  
**Tabla A1.** Valores sanguíneos y efectos del plomo en niños  
**Tabla A2.** Concentraciones de metales pesados provenientes de la industria ( $\mu\text{g/L}$ )  
**Tabla A3.** Niveles de contaminación por metales de origen doméstico e industrial



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Justificación:

El estudio que se realizará al lago de San Juan de Aragón es de gran importancia para la preservación de su flora y fauna, dicho estudio consiste en la determinación de metales pesados en ciertos puntos del lago los cuales son una fuente de contaminación para el agua y consecuentemente las plantas y animales existentes.

La posible aparición de metales pesados en el lago se debe a su periódico llenado con agua residual tratada, la cual proviene de la planta de tratamiento de Tlacos, que posiblemente no extraiga todos los contaminantes disueltos en el agua entre ellos los metales pesados.

Los metales pesados son tóxicos a la salud y al ambiente en altas concentraciones, por esta razón se realizará un estudio en el lago para verificar si existen metales pesados y en que concentraciones se encuentran.

Los metales que serán analizados son arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel y plomo ya que éstos son de los más comunes, abundantes en el agua y el ambiente y con una alta toxicidad para las especies acuáticas del lago como son: peces, ajolotes y aves migratorias lo que indica que el estudio de la presencia estos metales en el lago de San Juan de Aragón es de gran importancia para disminuir su contaminación. En particular el mercurio, el cromo y el plomo, son los metales pesados más peligrosos ya que por sus propiedades químicas pueden causar daños irreversibles en dichas especies.



No existen antecedentes de que se haya realizado un estudio de la presencia metales pesados en el lago de San Juan de Aragón por lo que es de vital importancia llevarlo a cabo y si es el caso de que se presenten altas concentraciones de metales, estudiar la manera de removerlos y contribuir a la limpieza de éste cuerpo de agua.

## **1.2 Resumen:**

Esta tesis se basa en el estudio y la determinación de metales pesados presentes en distintos puntos estratégicos del lago de San Juan de Aragón. Los principales metales que se determinarán son el plomo, mercurio, cadmio, cobre, zinc, níquel, arsénico y cromo.

Como se trata de un lago de uso recreativo lo que interesa es determinar los metales pesados que son aportados por la gente que lo visita y en dado caso por la planta de tratamiento de agua Tlacos de la cual el lago se llena, además de saber los problemas toxicológicos que puede presentar cada metal principalmente para las especies existentes en el lago.

Este estudio consiste en tres partes fundamentalmente, trabajo de campo, trabajo de laboratorio y trabajo de simulación. En el trabajo de campo se hace la recolección de las muestras de agua y se miden parámetros importantes como temperatura y pH, siguiendo las especificaciones que indica la norma NMX-AA-051-SCFI-2001.

En el laboratorio se analizan las muestras de agua recolectadas mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica para verificar si existen metales pesados en el lago y cuales son sus concentraciones. Los resultados se comparan con los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para saber si tiene problemas de contaminación.



Para el trabajo de simulación se utiliza el programa de cómputo Surfer 8 el cual muestra la distribución de cada uno de los metales pesados en el lago por medio de mapas a partir de datos de latitud, longitud y concentraciones de los metales.



### **1.3 Objetivos:**

#### **Objetivo general**

- Llevar a cabo la simulación de la distribución de los metales pesados presentes en el lago del bosque de San Juan de Aragón utilizando un paquete comercial.

#### **Objetivos particulares**

- Con la toma de muestras puntuales de agua superficial en el lago del bosque de San Juan de Aragón y el análisis de dichas muestras se tendrá la certeza del estado en que se encuentra el lago considerando la normatividad vigente en materia de agua.
- Mediante la simulación se observará la distribución de metales pesados en el lago del bosque de San Juan de Aragón y para esto se empleará el paquete comercial Surfer 8.

### **1.4 Alcance:**

- Se utilizará un solo paquete comercial para llevar a cabo la simulación de la distribución de metales pesados en el lago.
- Se propondrán soluciones para el control de metales pesados y la mejora de la calidad del agua en el lago.





## CAPÍTULO 2

# ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 Bosque de San Juan de Aragón

El bosque de San Juan de Aragón era parte del lago de Texcoco, el cual era un cuerpo de agua salada y se alimentaba por lagos de agua dulce como eran el de Xochimilco, Chalco, Xaltocan, Zumpango y el río Acolman (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2003).

En 1521 a la caída de Tenochtitlan y la incursión de los españoles en el valle de México, se comenzó a secar el lago de Texcoco debido a las continuas inundaciones. Los españoles realizaron obras de protección, construyendo presas, canales y conductos de agua, para drenar hacia el norte aguas negras, agua pluvial y agua de los manantiales del lugar. (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2003).

El 13 de septiembre de 1857 el presidente Ignacio Comonfort reconoció la existencia legal del pueblo de Aragón, al cual se le anexó el nombre de San Juan, referido al santo que se festejaba en esa fecha "San Juan Crisóstomo" y se fundó el pueblo San Juan de Aragón. (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2003).

Tras el estallido de la Revolución Mexicana, hubo modificaciones en el pueblo de San Juan de Aragón, la Hacienda fue fraccionada y al finalizar la revolución, se realizó la distribución de tierras a los campesinos (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2003).

En 1922 el bosque de San Juan de Aragón era una zona de terrenos baldíos, con tipo de suelo salitroso, que desfavorecía el crecimiento de abundante vegetación y

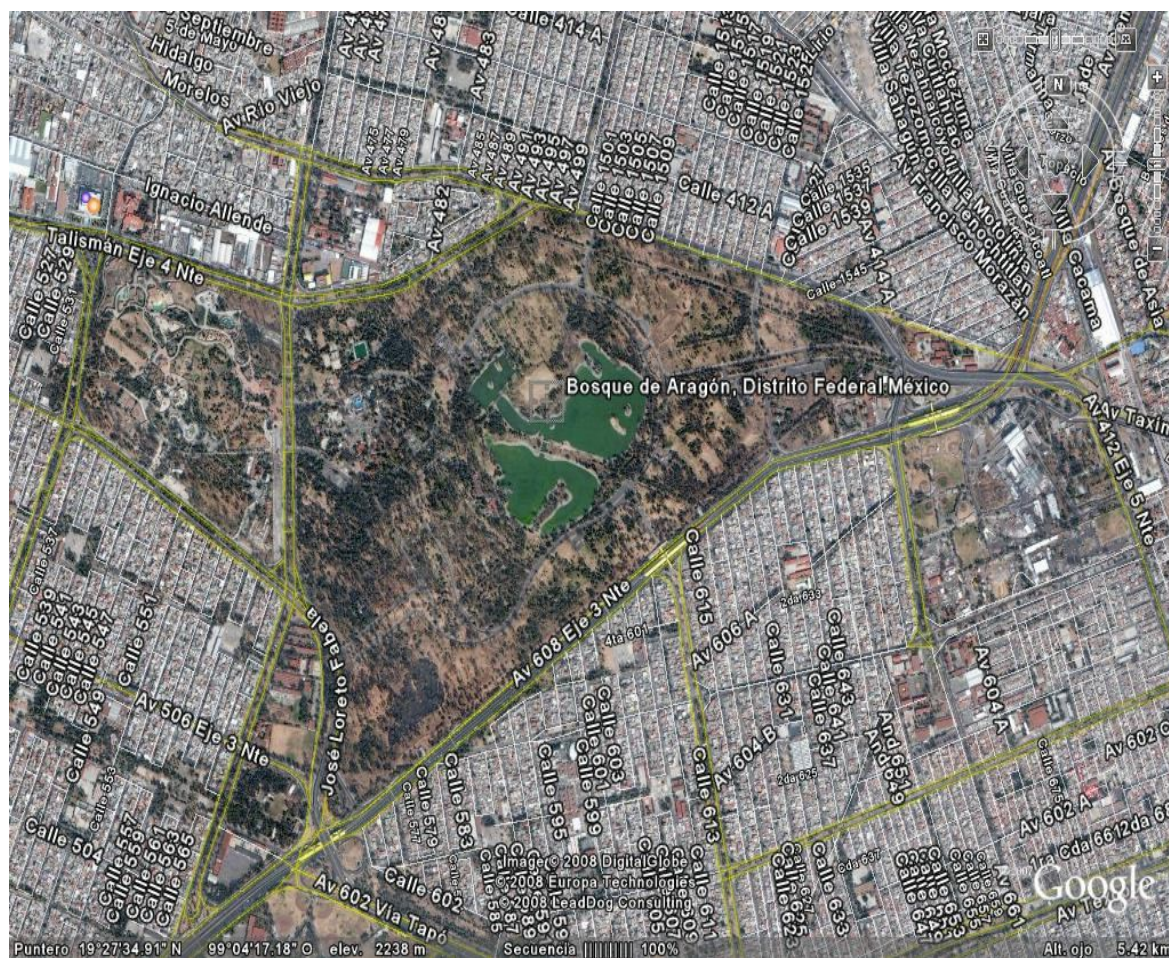


que impidió que fuera una zona de cultivo intenso (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2003).

Durante el sexenio de Lázaro Cárdenas (1934-1940), se tomó la medida de crear un campamento de reforestación en la zona desecada del lago la cual ya había agotado su reserva salina y así brindarles a la población un espacio ambiental en el que pudieran recrearse. La obra fue encargada al Ingeniero Loreto Fabela, quien acondicionó el terreno para su reforestación y sentó las bases de lo que hoy se conoce como el Bosque de San Juan de Aragón (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2003).

## **2.2 Lago del Bosque**

El lago se encuentra dentro del bosque San Juan de Aragón el cual actualmente cuenta con una extensión territorial de 162.028 ha y está situado al norte del Distrito Federal a una altitud promedio de 2240 msnm y se ubica dentro de la Delegación Política Gustavo A. Madero; limitado por las siguientes vialidades: al norte por las Av. 412 y Av. 510, al poniente por las Av. José Loreto Fabela y Av. 508, al sur-orientado por la Av. 608. (Figura 2.1) (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2003).



Fuente: (Google Earth, 2008)

**Figura 2.1** Ubicación del Lago del Bosque de San Juan de Aragón

El lago cuenta con una extensión de 11 Ha y su profundidad estimada está entre 30 cm y 80 cm. En el lago se encuentran dos puentes, un embarcadero, cuatro isletas y dentro de éste hay presencia de organismos como algas, peces, aves y algunas tortugas (Figuras 2.2, 2.3, 2.4, 2.5).

El lago se llena con agua residual proveniente de la planta de tratamiento de Tlacos, pero esto no quiere decir que esté libre de contaminantes. En este caso se



analizará la presencia de metales pesados en distintos puntos del lago, lo cual será de gran ayuda para comenzar a solucionar sus problemas de contaminación.

El lago se considera eutrófico lo cual quiere decir que hay un aumento de la entrada de nutrientes que puede ser artificial si se debe a actividades del hombre o natural si el aumento es debido a procesos ajenos al hombre, esto se puede notar ya que el agua del lago del Bosque de San Juan de Aragón se torna oscura con coloración verdosa, en caso contrario de los lagos oligotróficos (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Características generales de los lagos oligotróficos y eutróficos.

	<b>Oligotróficos</b>	<b>Eutróficos</b>
Profundidad	Más profundos	Menos profundos
Nivel de Oxígeno en verano	Presente	Ausente
Algas	Gran diversidad de especies, con baja densidad y productividad: generalmente predominan los clorófitos	Poca diversidad de especies, alta densidad y productividad alta: suelen predominar los cianófitos.
Flores	Escasas	Abundantes
Flujo de nutrientes para las plantas	Bajo	Alto
Producción animal	Baja	Alta
Peces	Salmónidos (p. ej. trucha, umbra y peces blancos) como especies dominantes.	Peces ordinarios (p. ej. percas, gobios, carpas) como especies dominantes

Fuente: (Mason, 1984)



Fuente: (Google Earth, 2008)

**Figura 2.2** Lago del Bosque de San Juan de Aragón



**Figura 2.3** Embarcadero del Lago del Bosque de San Juan de Aragón



**Figura 2.4** Isletas del Lago del Bosque de San Juan de Aragón





**Figura 2.5** Puente del Lago del Bosque de San Juan de Aragón



## CAPÍTULO 3

# METALES

### 3.1 Antecedentes de contaminación por metales

#### 3.1.1. Contaminación del agua por metales

Los efectos más graves de la contaminación ocurren cuando la entrada de las sustancias (naturales o sintéticas) al ambiente rebasa la capacidad de los ecosistemas para asimilarlas y/o degradarlas (Albert, 2004).

Cuando un contaminante químico entra al ambiente su comportamiento en él dependerá de:

- Su naturaleza Química
- Sus características fisicoquímicas
- Su cantidad
- La frecuencia de las emisiones

Sin embargo también influirán en dicho comportamiento los factores característicos del ambiente de que se trate, entre ellos:

- Temperatura
- pH
- Humedad
- Luz
- Calor
- Interacciones de organismos con la sustancia





El factor más importante es la naturaleza química del contaminante, pues de ella dependen sus características fisicoquímicas y de éstas su persistencia, movilidad ambiental y finalmente, su capacidad de interactuar con los organismos vivos (Tabla 3.1). (Albert, 2004).

Las Normas Oficiales Mexicanas contra la contaminación ambiental (publicadas en el Diario Oficial del 18 de octubre de 1993) consideran metales contaminantes del agua (en orden de importancia por su abundancia) a: 1.Aluminio 2. Plata 3.Cadmio 4.Arsénico 5.Cobre 6.Hierro 7.Mercurio 8.Cobalto 9.Vanadio 10. Manganeso 11. Níquel 12. Zinc 13. Magnesio 14. Antimonio 15. Cromo 16. Selenio 17. Titanio 18. Berilio 19.Estaño 20.Boro 21.Molibdeno 22.Tungsteno 23.Germanio 24.Bismuto 25.Plomo 26.Telurio (Lomelí y Tamayo, 2001).

**Tabla 3.1** Efectos de los principales metales contaminantes del agua.

<b>Residuos Inorgánicos</b>	<b>Efectos</b>
Arsénico	Envenenamiento
Asbesto	Efectos cancerígenos
Cadmio	Enfermedades renales, dolor en las articulaciones
Plomo	Inactiva el sistema nervioso
Mercurio	Inactiva el sistema nervioso central, parálisis y muerte
Dióxido de Azufre	Irritante, formación de lluvia ácida
Fosfatos	Eutrofización

Fuente: (Scragg, 1999)

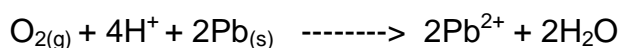
Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus depredadores (Lomelí y Tamayo, 2001).

A diferencia de los herbicidas, plaguicidas y otros compuestos tóxicos que pueden degradarse biológicamente, los metales pesados no pueden ser eliminados y



permanecen en los suelos o sedimentos, de donde se liberan lentamente al agua. La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999); (Lomelí y Tamayo, 2001).

El plomo elemental se puede disolver bajo condiciones ácidas debido a su oxidación por el oxígeno. Es más, algunos compuestos como carbonato e hidroxicarbonato de plomo, es decir,  $\text{PbCO}_3$  y  $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ , que pueden recubrir las tuberías, se disuelven en condiciones ácidas (Harrison, 1999).

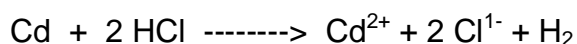


Se ha encontrado que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados (formar metilmercurio,  $\text{H}_3\text{C-Hg-CH}_3$ , el cual es muy venenoso) por bacterias anaerobias en el lodo del fondo de los lagos y también por los peces y los mamíferos. Por lo que, los desechos que contienen mercurio o sus derivados que se han ido acumulando en los fondos fangosos de los lagos constituyen fuentes potenciales de contaminación y por procesos bioquímicos pueden incorporarse a las diversas cadenas alimenticias. Además los compuestos de mercurio son del tipo de sustancias acumulables en los organismos y pueden llegar a alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para ser venenosos (Lomelí y Tamayo, 2001).

En el agua, el mercurio se encuentra principalmente en forma inorgánica, la cual puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos. De éstos, puede pasar al plancton, algas y, sucesivamente, a los organismos de niveles tróficos superiores como los peces y las aves rapaces. Una parte del metal que se encuentra disuelto puede evaporarse y entrar al aire, y otra, pasar a los suelos, si el agua contaminada es utilizada para el riego. (Albert, 2004).



Cuando el agua está contaminada por ácidos es más fácil la contaminación por metales que cuando no contiene ácidos, por ejemplo, cuando hay cadmio y ácido clorhídrico se puede representar mediante la ecuación química:



Para comprobar el comportamiento de los metales pesados en lagos de aguas dulces se deben investigar los siguientes aspectos:

- Distintos sistemas con estados diferentes (como oligotrófico, eutrófico, ácido)
- Influencias Estacionales
- Formas de introducción y transporte de los elementos
- Asociación de elementos en la columna del agua
- Procesos de deposición y redistribución y sus velocidades en los sedimentos
- Perfiles de concentración y especiación en las aguas que los cubren, en los sedimentos sólidos y en el agua de los poros
- Identificación de los minerales en los sedimentos.

Los metales pesados como plomo, cinc, cobre y cadmio han sido considerados inmóviles y fijos en el sedimento después de la deposición, en parte como resultado de la formación de sulfuros, comparativamente insolubles, bajo condiciones reductoras en profundidad, lo cual también implica el aumento de solubilidad de los metales en el agua provocando que ésta se contamine (Harrison, 1999).

Por la contaminación por metales pesados también se altera la composición de las poblaciones de un ecosistema, ya que cada especie responde de diferente manera a las concentraciones de contaminantes y por tanto acumula en mayor o menor medida determinados metales pesados. En general, desaparecen muchas especies, conduciendo a que predominen aquellas que son resistentes a los agentes contaminantes (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).



En animales acuáticos, el proceso de captación de metales pesados se efectúa mediante tres procesos principales: (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999)

1. A través de superficies respiratorias como las branquias
2. Absorción del agua a las superficies corporales
3. A través del aparato digestivo

La remoción de los metales pesados de los cuerpos de agua mediante métodos tradicionales, tales como el intercambio iónico o la precipitación con limo, resulta costosa y es ineficiente en particular a bajas concentraciones del metal. Además el tratamiento de los lodos representa uno de los mayores costos en el tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, a pesar de que los lodos suelen ser excelentes fertilizantes, su uso en la agricultura se ve limitado por la presencia de metales pesados (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

Por estas razones, se requiere desarrollar nuevas tecnologías capaces de reducir la concentración de metales pesados en cuerpos de agua a concentraciones biológicas aceptables y cuyos costos sean accesibles. Con el mayor conocimiento de la fisiología y la genética molecular de los microorganismos se han podido establecer las bases para aplicar la biotecnología ambiental y los procesos denominados de biorremediación o biorremoción. El término biorremoción puede definirse como la acumulación y concentración de contaminantes mediante el uso de materiales biológicos, preferentemente microorganismos, que son capaces de secuestrar a los iones metálicos, mediante procesos de adsorción, así como por la formación de compuestos que pueden sintetizarse en respuesta a valores tóxicos de los metales pesados. (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).



### **3.1.2. Toxicología de los metales pesados y su efecto en especies acuáticas.**

Todas las sustancias químicas pueden alterar alguna función o producir la muerte en algún organismo es decir que todas las sustancias son veneno, no hay ninguna que no tenga un efecto tóxico y es la dosis lo que la convierte en tal.

Vías de exposición o acceso al organismo:

- *Inhalación*; por el sistema respiratorio a sangre arterial.
- *Ingestión*; por el sistema digestivo a sangre venosa
- *Absorción*; a través de la piel o tejidos húmedos a sangre venosa

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una densidad mayor a 5 g/ml y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el arsénico (As), el cromo (Cr), y el plomo (Pb). Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de la tierra y no pueden ser degradados o ser destruidos. (Lenntech, 1998).

Algunos metales pesados (ej. cobre, selenio, cinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento (Lenntech, 1998).

La captación y toxicidad de metales pesados en los organismos acuáticos están influidas por factores fisicoquímicos y biológicos, así como por el tiempo de exposición y la concentración del metal o metales. Algunos de los factores que intervienen en la toxicidad de los metales pesados en solución son:

- a) Forma del metal en agua. Soluble o en partículas y como ión, complejo, quelato en forma coloidal, precipitado o absorbido.



- b) Presencia de otros metales. La presencia de otros cationes (sales de Ca y Mg) afecta la toxicidad del Cu, Zn, Cd y Hg, ya sea por precipitación o por competencia.
- c) Factores que modifican la fisiología del organismo. Temperatura, pH, oxígeno disuelto, luz, salinidad.
- d) Otros factores ambientales. Tal como la densidad de la población que al aumentar disminuye la toxicidad del metal o la edad del cultivo (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada con la concentración del producto químico en el ambiente. Aunque los niveles sean bajos, los metales se pueden acumular en las plantas, los animales y los microorganismos. Los metales no pueden ser degradados mediante procesos químicos o biológicos, de modo que cualquier proceso para el tratamiento de metales debe concentrar el metal para que pueda ser guardado en contenedores o reciclado (Scragg, 1999); (Lenntech, 1998).

Todos los metales pesados existen en las aguas superficiales en forma coloidal, de partículas y en fases disueltas, pero, las concentraciones en disolución son bajas generalmente. El metal en partículas y coloidal puede encontrarse en 1) hidróxidos, óxidos, silicatos o sulfuros, o 2) adsorbidos en la arcilla, en el silicio en la materia orgánica. Las formas solubles generalmente son iones, quelatos o complejos organometálicos no ionizables. La solubilidad de trazas de metales en las aguas superficiales está controlado predominantemente por el pH, por el tipo de concentración de los ligandos en los cuales el metal puede absorberse (Lenntech, 1998).

Los metales pesados no esenciales de interés particular para los sistemas acuíferos superficiales son cadmio, cromo, mercurio, plomo, arsénico y antimonio etc. (Estrucplan, 2007).

La toxicidad suele resultar:



- Cuando el organismo se ve sometido a una concentración excesiva del metal durante un periodo prolongado.
- Cuando el metal se presenta en una forma bioquímica.
- Cuando el organismo lo absorbe por vía inusitada.

La toxicidad de la mezcla tal vez difiera de la toxicidad de sus componentes, como ocurre con la mezcla de As y Cd o con la de Pb y otros metales. Por consiguiente no debe perderse la perspectiva de una exposición a mezclas y su implicación toxicológica cuando se plantea la información individual de cada metal, como a continuación se hace con algunos de los metales más tóxicos (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

### 3.1.2.1 Arsénico (As)

El arsénico se presenta en pequeñas cantidades de manera natural en todos los ecosistemas. Puede encontrarse como arsenato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ,  $\text{As}^{5+}$ ) o arsenito ( $\text{AsO}_2^-$ ,  $\text{As}^{3+}$ ), como materia de desecho y puede ser liberado al ambiente por la actividad volcánica y la erosión de depósitos minerales, es decir, como resultado de la actividad biológica. Este elemento posee cierto grado de movilidad en el medio ambiente, dependiendo de su forma química y de las propiedades del medio que lo rodea. Los compuestos de arsénico son teratogénicos y tienen efectos reproductivos adversos en los animales (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999); (Albert, 2004).

Puede ser trivalente o pentavalente y se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza. Los compuestos de arsénico trivalente inorgánicos que se utilizan con mayor frecuencia son el trióxido de arsénico, la arsenita de sodio y el tricloruro de arsénico. Los compuestos inorgánicos pentavalentes son el pentóxido de arsénico, el ácido arsénico y los arsenatos. Los compuestos orgánicos también pueden ser trivalentes o pentavalentes, como el ácido arsanílico o incluso ocurrir en formas



metiladas como consecuencia de biometilación por microorganismos que se encuentran en el suelo, agua dulce y agua de mar (Klaassen y Watkins, 2001).

La toxicidad del arsénico es compleja, pues depende de la vía, el tiempo de exposición y la naturaleza química del compuesto, por ejemplo, estado de valencia y forma química (inorgánica u orgánica) y otras propiedades como la solubilidad. En los mamíferos, los arsenicales trivalentes son al menos 100 veces más tóxicos que los derivados pentavalentes. En animales el arsénico se concentra principalmente en el hígado, piel, riñones, bazo, pulmones y tracto intestinal (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999); (Albert, 2004).

En el medio acuático, es importante considerar la volatilización cuando la actividad biológica o las condiciones altamente reductoras producen arsinas o metilarsénicos. Cierta número de organismos metabolizan al arsénico a compuestos orgánicos y con ello se incrementa su movilidad. (Arcos et al, 1994).

### ***Efectos del arsénico sobre seres vivos***

El arsénico es uno de los elementos más tóxicos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. (Lenntech, 1998).

Los niveles de arsénico en peces pueden ser altos porque absorben arsénico del agua donde viven. Por suerte esto es mayormente la forma de arsénico orgánico menos dañina, pero peces que contienen significantes cantidades de arsénico inorgánico pueden ser un peligro para sus depredadores. La toxicidad crítica en animales de agua dulce sucede a niveles del orden de 812  $\mu\text{g/L}$  y a niveles tan bajos como 40  $\mu\text{g/L}$  para las primeras etapas de la vida de los organismos acuáticos (Lenntech, 1998); (Arcos et al., 1994).





### **Efectos ambientales del arsénico**

El arsénico puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo. El arsénico es un componente que es extremadamente duro de convertir en producto soluble en agua o volátil. En realidad el arsénico es naturalmente específicamente un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico. (Lenntech, 1998).

La absorción de arsénico a través del tracto gastrointestinal es alta en la mayoría de las especies animales, cuando se administra en solución acuosa. La excreción de arsénico en especies animales es muy baja (<4%) (Albert, 2004).

Las concentraciones del peligroso arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de arsénico y morirán como resultado del envenenamiento por arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos (Lenntech, 1998).

### **Criterios en calidad del agua (USEPA) (Arcos et al., 1994)**

Vida acuática

Agua dulce:  
Toxicidad crítica: 440  $\mu\text{g/litro}$

Agua salada:  
Toxicidad crítica: 508  $\mu\text{g/litro}$



### 3.1.2.2 Cadmio (Cd)

---

El cadmio es un metal que puede presentarse en una variedad de formas químicas en residuos o en el ambiente. Aunque su presencia natural es baja, su prolongada vida media ( $t_{1/2}$  de 10-30 años) y capacidad de bioacumulación lo hacen un importante agente de contaminación ambiental. Algunas sales de cadmio, como el sulfuro, el carbonato y el óxido, son prácticamente insolubles en agua, pero en el medio natural pueden convertirse en sales hidrosolubles, siendo relativamente móvil en el ambiente acuático y es carcinógeno en animales expuestos por inhalación. El cadmio es conocido como una toxina animal teratogénica y reproductiva. Cuando es calentado a temperaturas elevadas, arde desprendiendo vapores amarillos rojizos de óxido de cadmio. Se oxida lentamente en el aire en presencia de humedad. Insoluble en agua y en los disolventes orgánicos, en cambio, es atacado fácilmente por los ácidos, incluso los más débiles. (Mapfre, 1999); (Albert, 2004).

El cadmio deriva sus características toxicológicas de su semejanza química con el zinc, el cual es un microalimento esencial para las plantas y los animales. El cadmio es biopersistente y una vez absorbido por un organismo, sigue siendo residente por muchos años aunque se excreta eventualmente (Lenntech, 1998).

En animales la exposición crónica por inhalación al cadmio causa enfisema y fibrosis pulmonar progresiva; alteraciones renales que se agrava con el transcurso de la exposición. El cadmio es relativamente móvil en el ambiente acuático comparado con otros metales pesados, se remueve del medio acuático para la formación de complejos con materiales orgánicos. (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999); (Arcos et al., 1994).

El cadmio puede tener efectos en la reproducción de peces en niveles presentes en aguas alta o moderadamente contaminadas (Arcos et al., 1994).



### **Criterios en calidad del agua (USEPA) (Arcos et al., 1994).**

#### Vida acuática

##### Agua dulce:

Toxicidad aguda:  $\text{Exp}\{1.3[\ln(\text{dureza})]-3.92\}$   $\mu\text{g/L}$

Toxicidad crónica:  $\text{Exp}\{0.87[\ln(\text{dureza})]-4.38\}$   $\mu\text{g/L}$

##### Agua salada:

Toxicidad aguda: 38  $\mu\text{g/L}$

Toxicidad crónica: 12  $\mu\text{g/L}$

### **3.1.2.3 Cinc (Zn)**

Es un elemento esencial para el desarrollo de muchas clases de organismos vegetales y animales. El cinc está presente en la mayor parte de los alimentos, especialmente en los que son ricos en proteínas como la insulina. En promedio, el cuerpo humano contiene cerca de 2 gramos de cinc. El cinc puede también incrementar la acidez de las aguas (Lenntech, 1998).

Algunos peces pueden acumular cinc en sus cuerpos, cuando viven en cursos de aguas contaminadas con cinc, cuando éste entra en los cuerpos de estos peces este es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria (Lenntech, 1998).

Grandes cantidades de cinc pueden encontrarse en los suelos. Cuando los suelos son granjas y están contaminados con cinc, los animales absorben concentraciones que son dañinas para su salud. El cinc soluble en agua que está localizado en el suelo puede contaminar el agua subterránea (Lenntech, 1998).

Las plantas a menudo tienen una toma de cinc que sus sistemas no pueden manejar, debido a la acumulación de cinc en el suelo. En suelos ricos en cinc sólo un número limitado de plantas tiene la capacidad de sobrevivir. Finalmente, el cinc puede interrumpir la actividad en los suelos, con influencias negativas en la actividad de



microorganismos y lombrices. La descomposición de la materia orgánica posiblemente sea más lenta (Lenntech, 1998).

#### 3.1.2.4. Cobre (Cu)

Para la mayoría de los organismos vivos, el cobre es un micronutriente esencial, ya que es constituyente de muchas metaloenzimas y de otras proteínas implicadas en los procesos de transporte de electrones y en otras reacciones de oxidoreducción (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

Los requerimientos de cobre por parte de los microorganismos por lo general se satisfacen con muy bajas concentraciones del metal, pero cuando este elemento se encuentra en su forma iónica libre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) en altas concentraciones, es tóxico para las células microbianas, así como para ciertas algas, hongos e incluso animales. La toxicidad del cobre se atribuye principalmente a sus interacciones con los ácidos nucleicos, a la alteración de sitios activos de enzimas y a la oxidación de componentes de las membranas, procesos que pueden relacionarse con la capacidad del cobre de generar radicales libres tóxicos (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

#### ***Efectos ambientales del cobre***

El cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión. El cobre en el aire permanecerá por un periodo de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover. Este terminará mayormente en los suelos, como resultado los suelos pueden también contener grandes cantidades de cobre después de que éste sea depositado desde el aire (Lenntech, 1998).

El cobre puede ser liberado en el ambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos. (Lenntech, 1998).



Cuando el cobre termina en el suelo es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres (Lenntech, 1998).

### 3.1.2.5 Cromo (Cr)

El cromo puede funcionar con distintas valencias y en el ambiente se encuentra en varias formas; las más comunes son las derivadas del cromo trivalente, o cromo (III), y las del cromo hexavalente, o cromo (VI), los cuales son los únicos estados de oxidación del cromo que tienen una importancia biológica. El cromo hexavalente es más soluble y es bastante móvil en agua subterránea y agua superficial. Sin embargo en la presencia de agentes reductores se convierte rápidamente en cromo trivalente (Cr III), el cual es fuertemente absorbido hacia los componentes del suelo y consecuentemente es mucho menos móvil (Arcos et al., 1994).

Los efectos biológicos del cromo dependen notablemente de su estado de oxidación. A los cromatos, Cr (VI), se les reconoce ampliamente como sustancias tóxicas y se ha establecido que son mutágenos y carcinogénicos; se ha informado de estos efectos en diversos sistemas biológicos, a partir de dicromato de K, trióxido de Cr o cromato de calcio (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

El compuesto más importante derivado del cromo (III) es el óxido crómico,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , el cual es muy estable, resistente a los ácidos y de alto punto de fusión y puede formar iones complejos, estables y coloridos. El cromo (VI) puede persistir en este estado de oxidación en aguas con bajo contenido de materia orgánica, mientras que al pH natural de las aguas, el cromo (III) formará compuestos insolubles, a menos que se formen complejos (Albert, 2004).



Se ha demostrado la prevalencia de alteraciones cromosómicas inducidas por Cr(III) en células de mamíferos, en animales tratados y en plantas (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

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. (Centre for Ecological Sciences Indian Institute of Science).

Hay varias clases diferentes de cromo que difieren de sus efectos sobre los organismos. El cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de cromo (III) y cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas (Centre for Ecological Sciences Indian Institute of Science).

### ***Efectos del cromo en el medio ambiente***

*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. 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 (Merian, 1984).

*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. 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 cromo (III) más estables y menos hidrosolubles (Merian, 1984).

Cadena alimentaria: Los compuestos del cromo (III) asimilados junto con los alimentos resultan relativamente no tóxicos; los compuestos del cromo (VI), en cambio, tienen efectos altamente tóxicos. Los animales 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 beben. El daño 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 (Merian, 1984).

En el tracto gastrointestinal de los animales se absorbe menos de 1% del cromo (III) y alrededor de 10% del cromo (VI). La velocidad de absorción depende de la forma química, la solubilidad del compuesto en agua, y el tiempo de permanencia en el tracto gastrointestinal (Albert, 2004).

### **Criterios de calidad del agua (USEPA) (Arcos et al., 1994).**

Cr (III):

Vida acuática

Agua dulce:

Toxicidad crítica:  $\text{Exp}\{0.819[\ln(\text{dureza})]+3.568\}$   $\mu\text{g/litro}$

Toxicidad crónica:  $\text{Exp}\{0.819[\ln(\text{dureza})]+0.537\}$   $\mu\text{g/litro}$

Cr (VI):

Vida acuática

Agua dulce:

Toxicidad crítica: 11  $\mu\text{g/litro}$

Toxicidad crónica: 7.2  $\mu\text{g/litro}$

Agua salada:



Toxicidad crítica: 1200 µg/litro  
Toxicidad crónica: 54 µg/litro

### 3.1.2.6 Mercurio (Hg)

Las propiedades toxicológicas del mercurio y sus derivados dependen fundamentalmente de su forma química. La toxicidad de diversas formas o sales de mercurio se relaciona con el mercurio catiónico en sí, en tanto la solubilidad, biotransformación y distribución en los tejidos están influidas por el estado de valencia y un componente aniónico. Puede existir en tres de éstas: mercurio elemental, compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos. El mercurio elemental, o metálico puede evaporarse a temperatura ambiente y generar vapores de mercurio tóxicos. Su volatilización depende, de la superficie de evaporación, de la temperatura y de la ventilación. (Albert, 2004); (Mapfre, 1999); (Klaassen y Watkins, 2001).

Las sales inorgánicas de mercurio existen en dos estados de oxidación: mercúricas ( $\text{Hg}^{2+}$ ) y mercurosas ( $\text{Hg}^{1+}$ ) y generalmente son sólidos a temperatura ambiente. El mercurio puede biotransformarse, principalmente en ambientes acuáticos, para formar derivados organometálicos de alta toxicidad, como el metilmercurio que es la forma más importante de mercurio orgánico (Albert, 2004).

Los niveles altos de acidificación en ríos, lagos y corrientes favorecen la presencia de mercurio en suelos, sedimentos y su conversión a metilmercurio. Esto puede explicar la contaminación de peces con este metal en lugares en los que hay lluvia ácida (Albert, 2004).

Los compuestos mercuriales pueden dividirse en tres grupos: mercurio metálico, sales mercuriales inorgánicas y compuestos mercuriales orgánicos, los cuales son extremadamente tóxicos. Los compuestos orgánicos resultan ser agentes neurotóxicos, sobre todo para el cerebro en formación; las sales inorgánicas también llegan al cerebro, aunque no en el grado de las mercuriales orgánicas. El mercurio inorgánico presenta su mayor toxicidad en el riñón. También son nefrotóxicos los





compuestos metálicos y orgánicos. (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999); (Mapfre, 1999)

Por sus efectos neurotóxicos, a los compuestos mercuriales orgánicos se les considera como los mercuriales más tóxicos en el hombre y animales. Así podría inhibir la proliferación celular, la cual es crítica en las primeras etapas del desarrollo del sistema nervioso central. Muchos compuestos mercuriales producen anomalías cromosómicas e inducen defectos genéticos (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

Las especies inorgánicas pueden volatilizarse a la atmósfera de fuentes acuáticas y terrestres. La adsorción en los lechos suspendidos y en lechos sedimentados es probablemente el proceso más importante para determinar el destino del mercurio en el ambiente acuático. El mercurio en suelos se presenta generalmente como compuestos orgánicos complejos (Lenntech, 1998); (Arcos et al., 1994).

El compuesto más tóxico derivado del Hg es el metilmercurio; es sintetizado por las bacterias, se acumula en peces de agua dulce y se retiene fuertemente. El contenido de metilmercurio encontrado en peces de lagos donde se utilizan plaguicidas mercuriales, es de 0.01 a 0.15 ppm de peso húmedo. El metilmercurio puede circular por largos periodos unidos a los eritrocitos. Los compuestos alquilmercuriales se acumulan de preferencia en el cerebro, donde el 98% se encuentra en forma de metilmercurio. El mercurio se excreta por el hígado, y en la bilis se encuentra por lo común como metilmercurio-cisteína (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

En general los compuestos orgánicos de mercurio son más tóxicos que los compuestos inorgánicos. En los peces ocasionan alteraciones en los epitelios branquiales y dérmicos, y hasta la muerte. En animales experimentales, los compuestos orgánicos del mercurio pueden producir efectos tóxicos en el tracto gastrointestinal, páncreas, hígado y corazón, involucrando los sistemas endocrino, inmunológico y el sistema nervioso central (Estrucplan, 2007); (Arcos et al., 1994).



### **Criterios en calidad del agua (USEPA) (Arcos et al., 1994).**

#### Vida acuática

##### Agua dulce:

Toxicidad crítica: 1.1  $\mu\text{g/litro}$

Toxicidad crónica: 0.20  $\mu\text{g/litro}$

##### Agua salada:

Toxicidad crítica: 1.9  $\mu\text{g/litro}$

Toxicidad crónica: 0.10  $\mu\text{g/litro}$

### **3.1.2.7 Níquel (Ni)**

El níquel se presenta en pequeñas cantidades en plantas y animales. Está presente en pequeñas cantidades en el agua de mar, el petróleo y en la mayor parte del carbón (Lenntech, 1998).

La toxicidad crónica del níquel para organismos acuáticos es alta. Aunque el níquel está rara vez en la naturaleza y no es soluble en agua muchos de sus compuestos son altamente solubles en ella. El níquel se presenta casi siempre en su estado de oxidación divalente en sistemas acuáticos (Arcos et al., 1994).

#### ***Efectos ambientales del Níquel***

El níquel puede terminar en la superficie del agua cuando es parte de las aguas residuales. La mayor parte de todos los compuestos del níquel que son liberados al ambiente se absorberán por los sedimentos o partículas del suelo y llegará a inmovilizarse. En suelos ácidos, el níquel se une para llegar a ser más móvil y a menudo alcanza el agua subterránea (Lenntech, 1998).



En la mayoría de las aguas contaminadas aparece un poco absorción del níquel. La falta de otros controles sobre la movilidad del níquel probablemente influye en la incorporación del níquel dentro de los sedimentos siendo un importante destino de este elemento en las aguas superficiales. (Arcos et al., 1994).

En general el níquel no se acumula en cantidades significativas en los organismos acuáticos. Sin embargo, puede ocurrir el transporte atmosférico del níquel y de sus compuestos a través de partículas (Arcos et al., 1994).

Se sabe que altas concentraciones de níquel en suelos arenosos puede claramente dañar a las plantas y altas concentraciones de níquel en aguas superficiales puede disminuir el rango de crecimiento de las algas. Microorganismos pueden también sufrir una disminución del crecimiento debido a la presencia de níquel, pero ellos usualmente desarrollan resistencia al níquel. Para los animales el níquel, es un elemento esencial en pequeñas cantidades. Pero el níquel no es sólo favorable como elemento esencial; puede ser también peligroso cuando se excede la máxima cantidad tolerable. Esto puede causar varios tipos de cánceres en diferentes lugares de los cuerpos de los animales. No es conocido que el níquel se acumule en plantas o animales. Como resultado el níquel no se biomagnifica en la cadena alimentaria (Lenntech, 1998).

### **Criterios en calidad del agua (USEPA) (Arcos et al., 1994).**

#### Vida acuática

##### Agua dulce:

Toxicidad aguda:  $\text{Exp}\{0.76[\ln(\text{dureza})]+0.42\}$   $\mu\text{g/litro}$

Toxicidad crónica:  $\text{Exp}\{0.76[\ln(\text{dureza})]+1.06\}$   $\mu\text{g/litro}$

##### Agua salada:

Toxicidad aguda: 140  $\mu\text{g/litro}$

Toxicidad crónica: 7.1  $\mu\text{g/litro}$



### 3.1.2.8 Plomo (Pb)

El plomo es un constituyente natural del suelo y del polvo; es un contaminante permanente, por lo tanto, es indestructible y no puede ser transformado a una forma inocua. Su presencia en los seres vivos se debe a que las plantas lo absorben a través de la raíz y a su vez, las especies animales lo hacen al alimentarse de aquellas. Por sí mismo, el plomo metálico no representa ningún problema ambiental o de salud; éstos comienzan cuando se disuelve y pasa a su forma iónica (Albert, 2004).

El plomo en el medio acuático existe principalmente como un catión divalente en la mayoría de las aguas no contaminadas y se vuelve adsorbible en fases particulares. Sin embargo, en aguas contaminadas los complejos orgánicos del plomo son los más importantes (Arcos et al., 1994).

Entre más ácido sea el medio, se favorece la solubilidad del plomo. Por tal razón los sistemas de tratamiento de aguas públicas requieren ahora llevar a cabo un ajuste de pH en el agua. La bioacumulación de plomo se presenta en una gran variedad de organismos, a través de la cadena alimenticia (Albert, 2004).

Todos los compuestos de plomo son tóxicos en diferente grado, dependiendo de su naturaleza química y grado de solubilidad de cada compuesto, los más tóxicos son los compuestos orgánicos. Desde hace mucho tiempo se sabe que el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos. En los peces los compuestos de plomo originan la formación de una película coagulante y les provoca alteraciones hematológicas. (Albert, 2004).

#### ***Efectos ambientales del plomo***

Una vez que ha entrado al ambiente, el plomo puede pasar de una especie inorgánica a otra o de un tamaño de partícula a otro, pero no se degrada. El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo, éstos



experimentarán efectos en su salud por envenenamiento y los efectos pueden tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de plomo presente. El plomo se acompleja fuertemente con materias orgánicas presentes en sistemas acuáticos y suelos. En el suelo no es asimilado por las plantas, razón por la cual su disponibilidad para los organismos terrestres es un poco limitada (Arcos et al., 1994); (Albert, 2004).

### **Criterios en calidad del agua (USEPA) (Arcos et al., 1994).**

#### Vida acuática

##### Agua dulce:

Toxicidad crítica:  $\text{Exp}\{1.34[\ln(\text{dureza})]-2.014\}$   $\mu\text{g/litro}$

Toxicidad crónica:  $\text{Exp}\{1.34[\ln(\text{dureza})]-5.245\}$   $\mu\text{g/litro}$

##### Agua salada:

Toxicidad crítica: 220  $\mu\text{g/litro}$

Toxicidad crónica: 8.6  $\mu\text{g/litro}$



# CAPÍTULO 4

## LEGISLACIÓN MEXICANA

### 4.1 LEYES AMBIENTALES

- *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).*

La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

- *Ley de Aguas Nacionales*

La presente Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

### 4.2 NOM

- *NOM-001-SEMARNAT-1996.* Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.



- *NOM-003-SEMARNAT-1997*. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

### 4.3 NMX

- *NMX-AA-051-SCFI-2001*. Análisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

Para verificar si las concentraciones de metales pesados en las muestras se encuentran dentro de los LMP de toxicidad, se tomará en cuenta la siguiente norma americana. La USEPA es aplicable y útil para el caso del cuerpo de agua que se estudia, ya que proporciona criterios en calidad del agua en cuanto a la toxicidad crítica y crónica a la que están expuestas las especies acuáticas de agua dulce.

### USEPA

La USEPA trabaja para desarrollar y hacer cumplir regulaciones que implantan leyes ambientales establecidas por el Congreso. La USEPA es responsable por investigar y establecer estándares para una variedad de programas ambientales, y delegar a estados las responsabilidades para otorgar permisos, supervisar y hacer cumplir los acatamientos. Donde los estándares no son cumplidos, la USEPA puede emitir sanciones y tomar otras medidas para asistir a los estados a alcanzar los niveles deseados de calidad ambiental.



# CAPÍTULO 5

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Trabajo de campo

El muestreo se realizó en 22 puntos estratégicos del lago de San Juan de Aragón (Figura 5.3), recolectando el mismo número de muestras y el procedimiento es el siguiente:

- a. Los 22 contenedores para las muestras de agua se lavan con detergente libre de metales, se enjuagan con agua destilada y después con ácido nítrico al 20 %, posteriormente se vuelven a enjuagar con agua destilada para después dejar secar.
- b. En la recolección de las muestras se registraron las lecturas de pH (Figura 5.1), temperatura (Figura 5.2) y coordenadas del punto donde se tomó cada muestra (Tabla 5.1).



Figura 5.1 Medición de pH

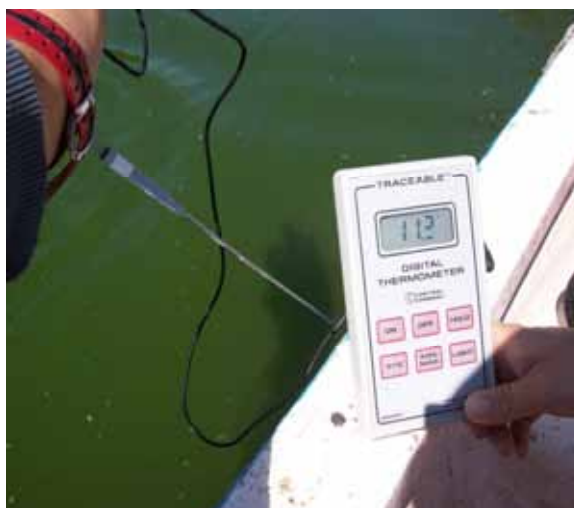


Figura 5.2 Medición de Temperatura





- c. Las muestras y los blancos de campo se deben preservar añadiendo ácido nítrico concentrado grado suprapuro (libre de metales) hasta obtener un pH < 2 y se deben mantener en refrigeración a 4°C hasta el análisis.
- d. El tiempo máximo que se pueden almacenar las muestras es de 6 meses y para el análisis de mercurio es de 28 días.

Fecha: 25/02/08 Hora del muestreo: 10:30 a.m.

Metales a determinar: *Arsénico, Mercurio, Plomo, Níquel, Cadmio, Cromo, Cobre, Cinc.*

**Tabla 5.1** Datos del muestreo para la determinación de metales en el Lago de Aragón.

<i>No de muestra</i>	<i>Temperatura ( °C)</i>	<i>pH</i>	<i>Ubicación Punto</i>
M1	17.3	11.2	1B
M2	17.2	11.4	2B
M3	17.1	11.2	3B
M4	17.4	11.3	4B
M5	17.3	11.1	5B
M6	15.6	11.5	6B
M7	15.7	11.5	7B
M8	16.3	11.3	8B
M9	16.3	11.4	9B
M10	16.5	11.7	10B
M11	16.6	11.4	11B
M12	15.7	11.9	12B
M13	16.1	11.8	13B
M14	16.6	11.9	14B
M15	17.2	11.3	15B
M16	19.5	11.1	16B
M17	20.0	11.1	17B
M18	21.2	10.7	18B
M19	21.4	11.5	19B
M20	18.3	11.2	20B
M21	22.2	11.4	21B
M22	17.3	11.2	22B



Fuente: (Google Earth, 2008)

**Figura 5.3** Localización de los puntos donde se tomaron las muestras de agua del lago de Aragón

## 5.2 Determinación por EAA

### 5.2.1 Material

- Todo el material volumétrico utilizado en este método debe estar calibrado.
- Espectrofotómetro de absorción atómica (EAA). Con haz sencillo o doble, monocromador, detector, fotomultiplicador ajustable al ancho de banda espectral, intervalo de longitud de onda que contenga las longitudes de los analitos a analizar y provisto de una interfase con registrador o un adecuado sistema de datos.



- Generador de hidruros.
  
- Vapor frío.
- Horno de grafito. Equipo capaz de programar las temperaturas, tiempos y flujos de gas inerte y alterno en los pasos para atomizar la muestra, debe contar con un sistema de enfriamiento para controlar la temperatura del horno.
  
- Lámparas de: Aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, calcio, cadmio, cesio, cobalto, cobre, cromo, estaño, estroncio, hierro, iridio, magnesio, manganeso, mercurio, molibdeno, litio, níquel, oro, osmio, plata, platino, plomo, potasio, podio, rubidio, selenio, silicio, sodio, titanio, vanadio, zinc (además de otros elementos de interés en el análisis de agua).
  
- Horno de microondas, y/o autoclave, y/o placa de calentamiento.
  
- Quemadores de 10 cm de 1 ranura, de 10 cm de 3 ranuras y para óxido nitroso de 5 cm o los recomendados por el fabricante del equipo.
  
- Celda de cuarzo cilíndrica para el generador de hidruros.
  
- Tubos de grafito y accesorios (específicos para el horno de grafito utilizado).
  
- Material de consumo que necesite el espectrofotómetro en flama y/u horno y/o generador de hidruros y/o vapor frío.

### ***Limpieza del material***

- Todo el material usado en esta determinación debe ser exclusivo para este procedimiento. Para el lavado del material remojar durante 1 h en una disolución de



ácido nítrico al 10 % y enjuagar con agua. Los detergentes con base de amoníaco no deben usarse para la limpieza del material. Su uso debe restringirse dentro del laboratorio.

- Los contenedores de las muestras deben lavarse con disolución de detergente no iónico, libre de metales, enjuagarse con agua, remojar en ácido toda la noche y volver a enjuagarse con agua libre de metales y dejar secar (con cuidado especial para el análisis de trazas).
- En los casos de que se presenten adherencias en el material debe dejarse remojando de 12 h a 24 h con HNO<sub>3</sub> (1:5), HCl (1:5) o con agua regia (3 partes de HCl concentrado + 1 parte de HNO<sub>3</sub> concentrado) a 70°C, después debe ser enjuagado con agua libre de metales.
- En los casos de que el material presente grasas, enjuagar con acetona y/o hexano.

### **5.2.2 Metodología**

#### ***Preparación de la muestra para la determinación de metales totales por digestión en aguas naturales, potables y residuales.***

- Homogeneizar perfectamente la muestra, verificando que no existan sólidos adheridos en el fondo del contenedor. Inmediatamente después tomar la alícuota de 50 mL a 100 mL dependiendo de la naturaleza de la muestra, y transferir a un vaso de precipitados para digestión.



**Figura 5.4** Contenedores para los vasos de teflón

- Los vasos de teflón deben ser de 100 mL de capacidad. El vaso debe ser capaz de soportar una presión interna de 100 o más psi y una temperatura de 200°C. El vaso debe tener válvula de seguridad con una membrana de ruptura para prevenir la posible ruptura del vaso o que salga disparada la tapa.
- Tapar los recipientes herméticamente y programar el microondas según las instrucciones del fabricante. El periodo de digestión puede variar de 30 min a 50 min dependiendo de las características de la muestra y de la potencia aplicada.
- Cuando la digestión es completa retirar la muestra y enfriar.
- Por cada 100 mL de volumen de disolución final adicionar 10 mL de ácido clorhídrico (1:1) y 15 mL de agua, calentar la muestra sin llegar a ebullición por espacio de 15 min para disolver precipitados o residuos resultantes de la evaporación y llevar al aforo correspondiente (de 50 mL a 100 mL). Enfriar, lavar las paredes del vaso y vidrio de reloj con agua y filtrar para remover el material insoluble que pueda tapar el nebulizador. Ajustar el volumen basado en la concentración esperada de los analitos.



**Figura 5.5** Digestor u Horno de microondas (Mars 5)

- El sistema de calentamiento por microondas debe ser capaz de liberar de 575 W a 1000 W de potencia. La unidad debe ser capaz de ajustar la potencia a 1% en un segundo de tiempo, contar con un sistema de control de presión dentro de uno de los vasos y un sistema de ventilación de 2,8 m<sup>3</sup>/min.

#### *Condiciones de trabajo del digestor*

Agua con materia orgánica a 1200 W, 100% de potencia, 25 minutos de espera para llegar a 180°C, permaneciendo a esta temperatura durante 15 minutos.



### **Generador de hidruros. (Análisis de mercurio)**



**Figura 5.6** Espectrofotómetro (Perkin-Elmer 2380) con aditamento de generación de hidruros.

- Instalar la lámpara adecuada, colocar la corriente de la lámpara dependiendo del metal a analizar.
- Encender el espectrofotómetro y esperar a que se estabilice.
- Seleccionar la longitud de onda y el ancho de banda espectral para el elemento que va a ser determinado de acuerdo al protocolo del laboratorio o del manual del fabricante.
- Alinear la lámpara a su máxima energía.
- Alinear el accesorio que se va a usar para atomizar la muestra.
- Ajustar el rayo de luz de la lámpara de acuerdo con las especificaciones del fabricante del equipo.



- Alinear la celda de cuarzo en el rayo de luz y esperar de 20 min a 30 min para su estabilización en la flama antes de iniciar el análisis; en este período, preparar las disoluciones estándar y los reactivos.
- Colocar en el recipiente del reductor una disolución de borohidruro de sodio en hidróxido de sodio y conectar el recipiente al sistema según las especificaciones del fabricante del equipo.
- Abrir el suministro de gas inerte y ajustar la presión de acuerdo a las especificaciones del fabricante del equipo.
- Conectar el vaso de reacción al sistema generador y esperar el tiempo suficiente para que todo el aire se purgue del sistema, entonces registrar el cero en el espectrofotómetro.
- Conectar el vaso de reacción que contiene el blanco de reactivos.
- Purgar el sistema hasta eliminar completamente el aire, permitir la entrada de la disolución de borohidruro de sodio hasta obtener la lectura del blanco.
- Limpiar el sistema haciendo pasar agua o ácido clorhídrico diluido.
- Realizar la curva de calibración con un mínimo de cuatro concentraciones y un blanco de reactivos en el intervalo lineal demostrado para cada elemento. El primer punto deberá ser igual o mayor al límite de detección (valor menor de absorbancia que puede ser detectada por el espectrofotómetro) y el último deberá estar dentro del intervalo lineal.
- Las mediciones de absorbancia se hacen en forma directa para aguas naturales y potables (transparentes) y después de previa digestión para aguas residuales.





- Obtener una gráfica con los valores de la curva de calibración y realizar los cálculos cuantitativos.

**Horno de grafito. (Análisis de arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, níquel y plomo).**



**Figura 5.7** Espectrofotómetro (Perkin-Elmer AAnalyst 700) con aditamento de horno de grafito.

- Establecer la corriente de la lámpara para cada metal y esperar de 10 a 20 minutos para que se estabilice el equipo, una vez encendida la lámpara.
- Seleccionar el ancho de banda espectral óptimo, el cual depende de cada elemento en particular.
- Colocar la longitud de onda en el espectrofotómetro para cada metal de interés de acuerdo al protocolo del laboratorio o del manual del fabricante.
- Alinear el tubo de grafito de acuerdo a las indicaciones del fabricante del equipo.
- Programar el flujo de gas inerte, gas alterno y de agua de enfriamiento de acuerdo a lo especificado por el fabricante.



- Seleccionar el programa para cada uno de los metales con las sugerencias recomendadas por el fabricante del equipo.
- Inyectar la cantidad de muestra especificada por el fabricante en el tubo de grafito.
- Realizar la curva de calibración con un mínimo de cuatro concentraciones y un blanco de reactivos en el intervalo lineal demostrado para cada elemento. El primer punto debe ser igual o mayor al límite de detección, y el último debe estar dentro del intervalo lineal.
- Inyectar la cantidad recomendada por el fabricante en el tubo de grafito del blanco de reactivos y la disolución de trabajo más concentrada para optimizar el programa del horno.
- Obtener una gráfica con los valores de la curva de calibración y realizar los cálculos cuantitativos.

### **5.3 Antecedentes del Paquete Surfer 8**

El surfer 8 es un programa para hacer mapas de superficies en dos y tres dimensiones, que rápida y fácilmente convierte los datos en contornos, superficies, estructuras, vectores, imágenes, relieves sombreados y mapas. Virtualmente, todos los aspectos de los mapas pueden ser personalizados para producir exactamente la presentación que se desee, produciendo publicaciones de mapas de calidad que nunca habían sido rápidos o fáciles.

Los mapas de contornos dan control total sobre todos los parámetros del mapa, con el surfer inteligente se puede crear automáticamente el contorno de un mapa y se pueden personalizar sus características.



El contorno de los mapas se muestra sobre cualquier intervalo de éste o específicamente en los niveles del contorno que se quieran mostrar en el mapa. Con el surfer también se puede agregar color, llenado entre contornos para producir una imagen deslumbrante de los mapas o producir escalas de gris para impresiones en blanco y negro.

### Características

- Automáticamente define intervalos de contornos
- Control total sobre formatos de contornos etiquetados, fuentes, frecuencia, localización y espaciamiento
- Etiqueta contornos para localizarlos exactamente donde se requieran
- Automáticamente define el color para las líneas del contorno
- Rota y nombra contornos de mapas en cualquier ángulo
- Agrega escalas de color y escalas de distancias entre puntos
- Utiliza escalas independientes en las dimensiones de "x" y "y"
- Tiene pleno control sobre ejes con etiquetas marcadas, marcas de espaciamiento, líneas discontinuas y títulos.
- Crea cualquier cantidad de contornos en una misma página.

En este caso el surfer 8 se utiliza para representar en un mapa del lago de San Juan de Aragón la distribución de los metales pesados totales en sus diferentes zonas a partir de las concentraciones obtenidas en el análisis que se les realizó a las 22 muestras y la ubicación (latitud y longitud) de los puntos de recolección de muestras. Cabe destacar que los datos de latitud y longitud se obtuvieron del programa Google Earth 2008 ya que no se pudo contar con un GPS para registrar dichos datos. Por último el formato de los mapas nos permite observar de una manera clara las zonas con mayores y menores concentraciones de cada metal.



## CAPÍTULO 6

# RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN

### 6.1 Resultados

Tabla 6.1. Concentraciones de metales totales presentes en el Lago de San Juan de Aragón.

	<b>Metales totales en agua</b>							
<b>Metal</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Masa atómica</b>	75	112	52	63	200	60	208	66
<b>Concentración</b>	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
<b>Muestra</b>								
M1	24.7	0.0490	5.6	3.1	0.0044	11.8	21.3	12.0
M2	28.8	0.0180	4.8	2.3	0.0044	12.3	24.2	14.3
M3	28.9	0.0950	4.0	3.6	0.0044	11.0	28.9	16.0
M4	28.1	0.0230	3.4	2.8	0.0044	12.3	34.1	49.1
M5	28.9	0.0030	5.1	2.0	0.0044	10.9	39.5	15.0
M6	28.9	0.0150	3.9	2.1	0.0044	9.4	66.7	22.6
M7	30.5	0.0290	6.9	2.3	0.0044	10.3	68.6	43.4
M8	29.4	0.0250	3.4	1.5	0.0044	9.3	70.8	51.9
M9	29.5	0.0570	3.3	3.3	0.0044	9.7	68.6	20.2
M10	29.0	0.0280	4.4	1.7	0.0044	10.0	66.1	14.1
M11	29.2	0.0300	3.7	1.5	0.0044	8.8	65.7	12.6
M12	28.6	0.0490	4.0	2.0	0.0044	9.2	63.0	21.2
M13	28.9	0.0210	2.9	1.4	0.0044	9.2	58.9	13.6
M14	29.9	0.0420	5.4	8.1	0.0044	8.7	58.5	18.2
M15	30.2	0.0014	2.8	1.2	0.0044	7.6	56.1	7.8
M16	31.1	0.1270	4.4	1.6	0.0044	9.4	52.9	14.1
M17	31.4	0.0350	3.8	1.6	0.0044	9.5	55.2	19.2
M18	30.5	0.0250	4.6	2.4	0.0044	11.0	45.8	22.0
M19	31.4	0.0080	3.6	1.3	0.0044	8.2	52.2	9.2
M20	31.5	0.0570	4.3	2.1	0.0044	9.7	48.1	17.1
M21	31.2	0.0980	4.0	2.6	0.0044	10.1	48.5	19.1
M22	37.8	0.0550	1.0	3.4	0.0044	12.6	51.5	17.7



### Reporte gráfico de la determinación de metales totales

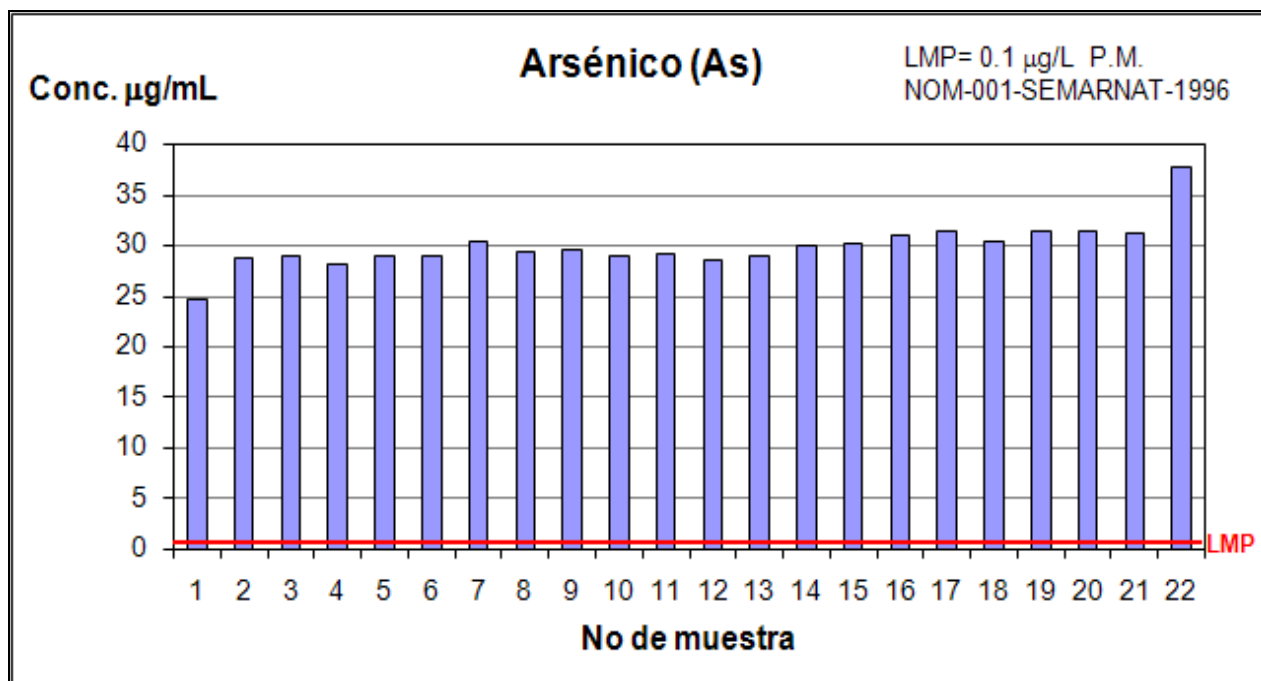


Figura 6.1 Gráfica con las concentraciones de arsénico en 22 muestras de agua analizadas.

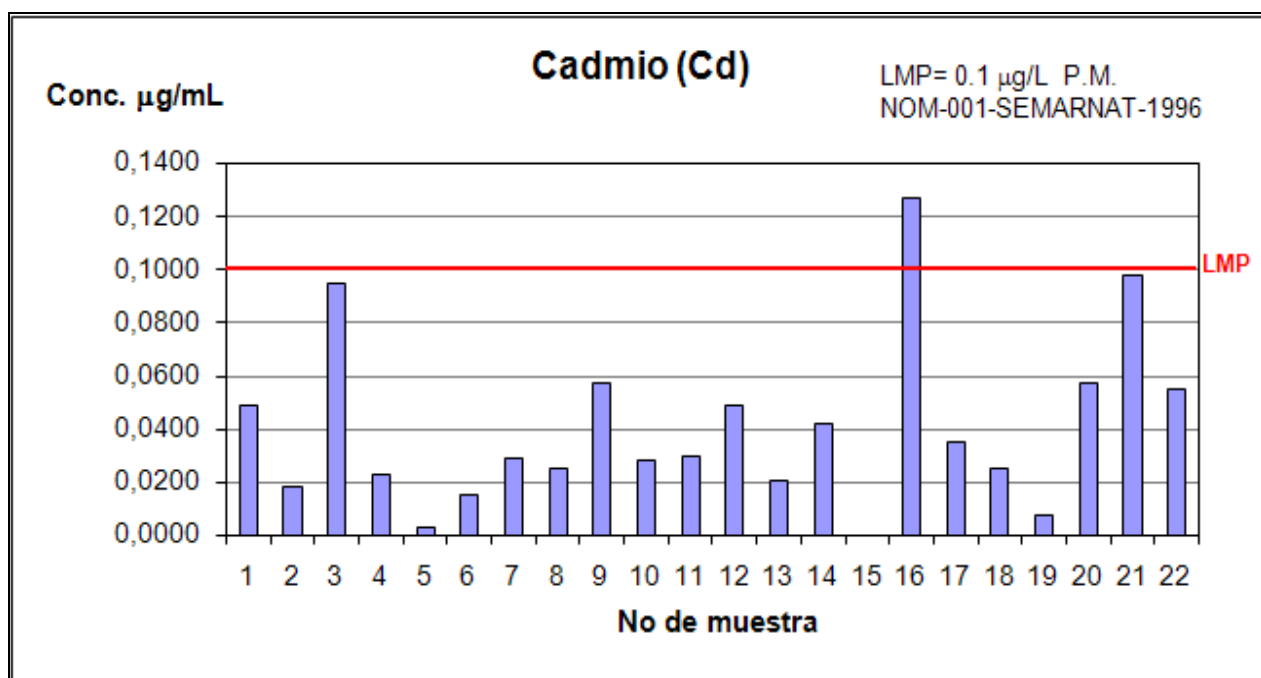
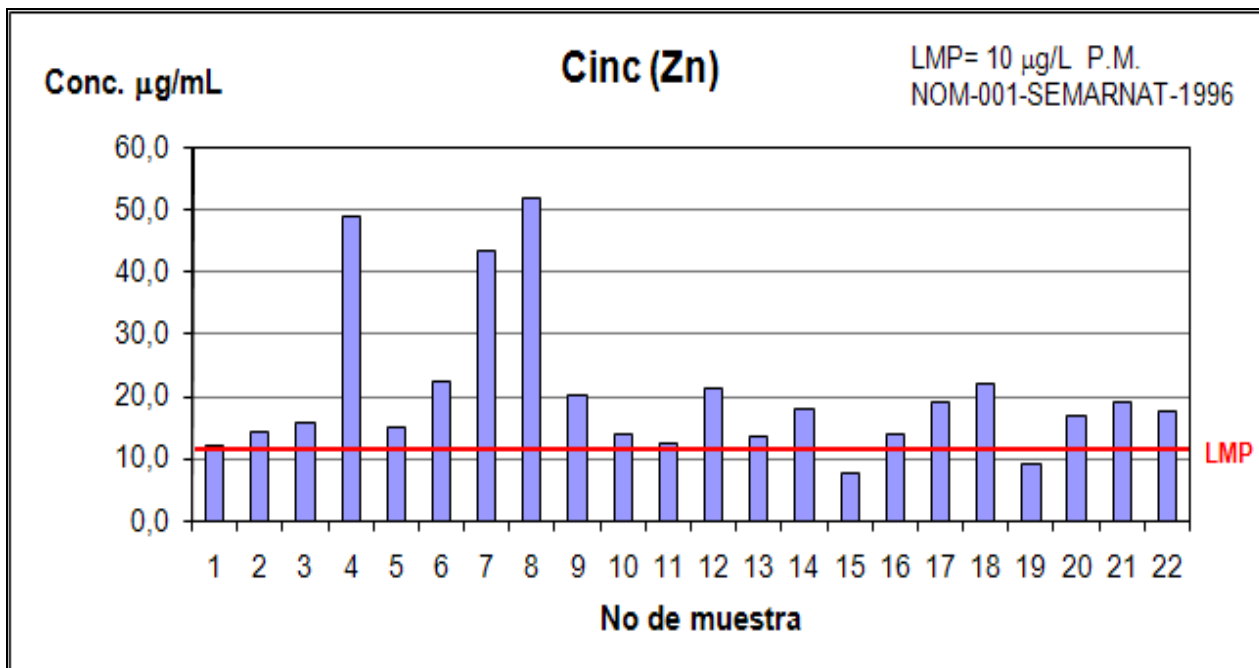
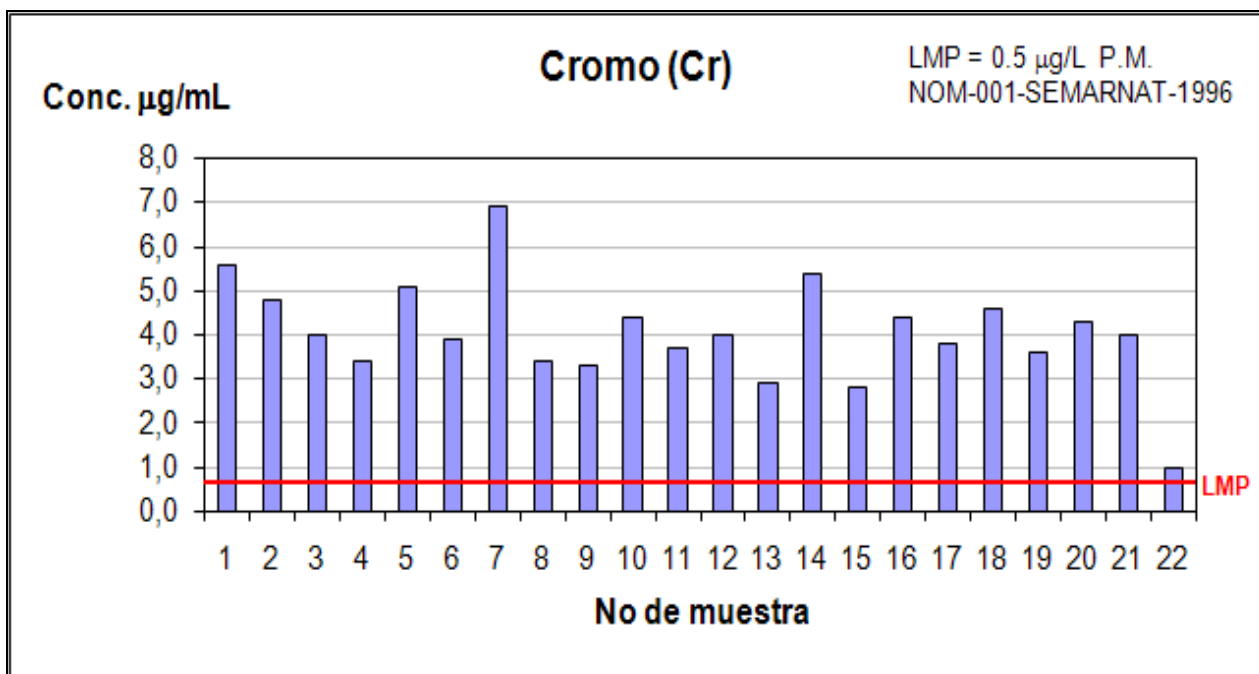


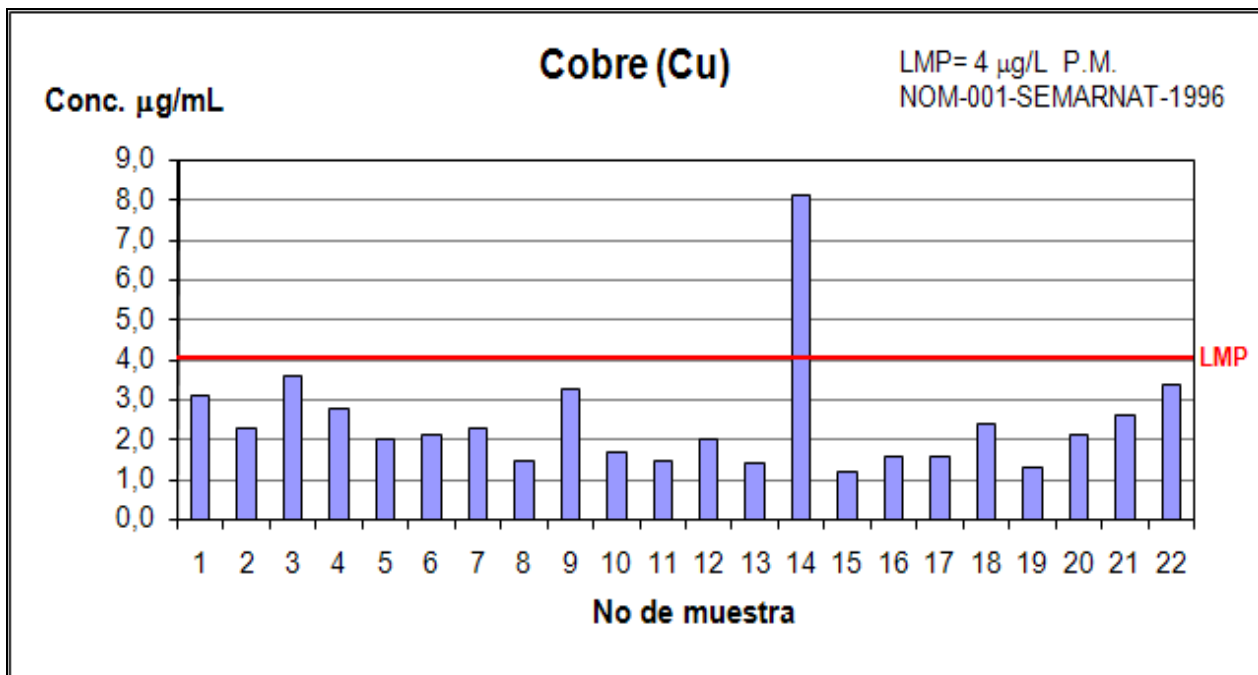
Figura 6.2 Gráfica con las concentraciones de cadmio en 22 muestras de agua analizadas.



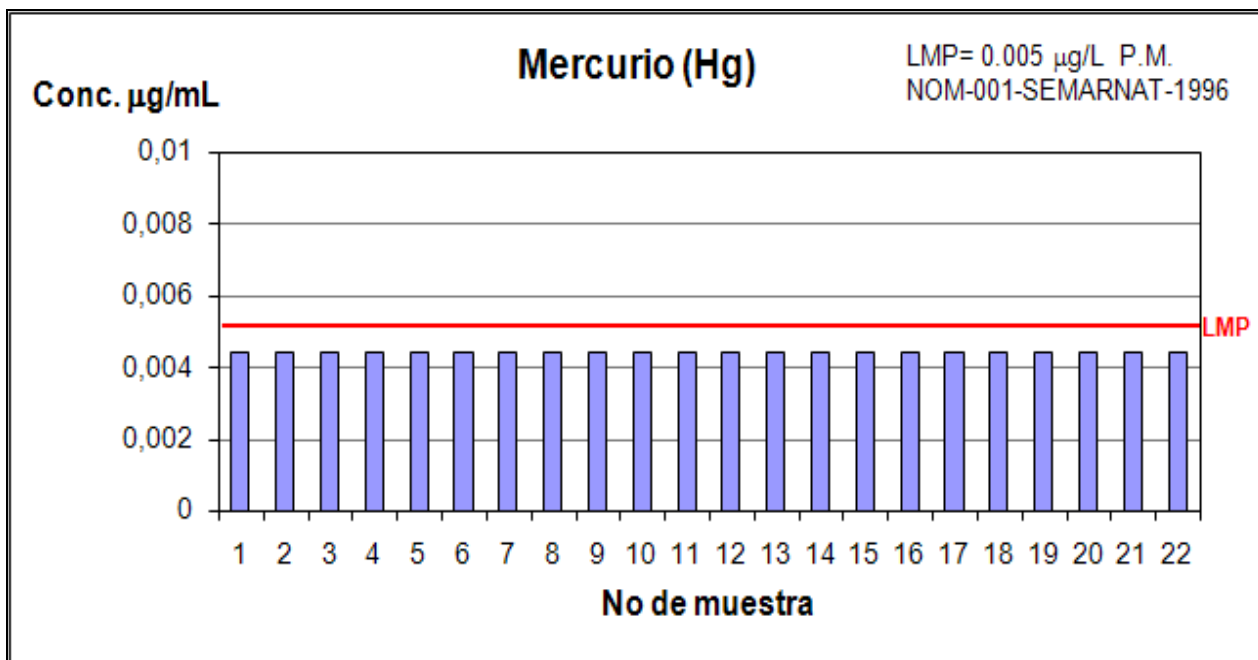
**Figura 6.3** Gráfica con las concentraciones de cinc en 22 muestras de agua analizadas.



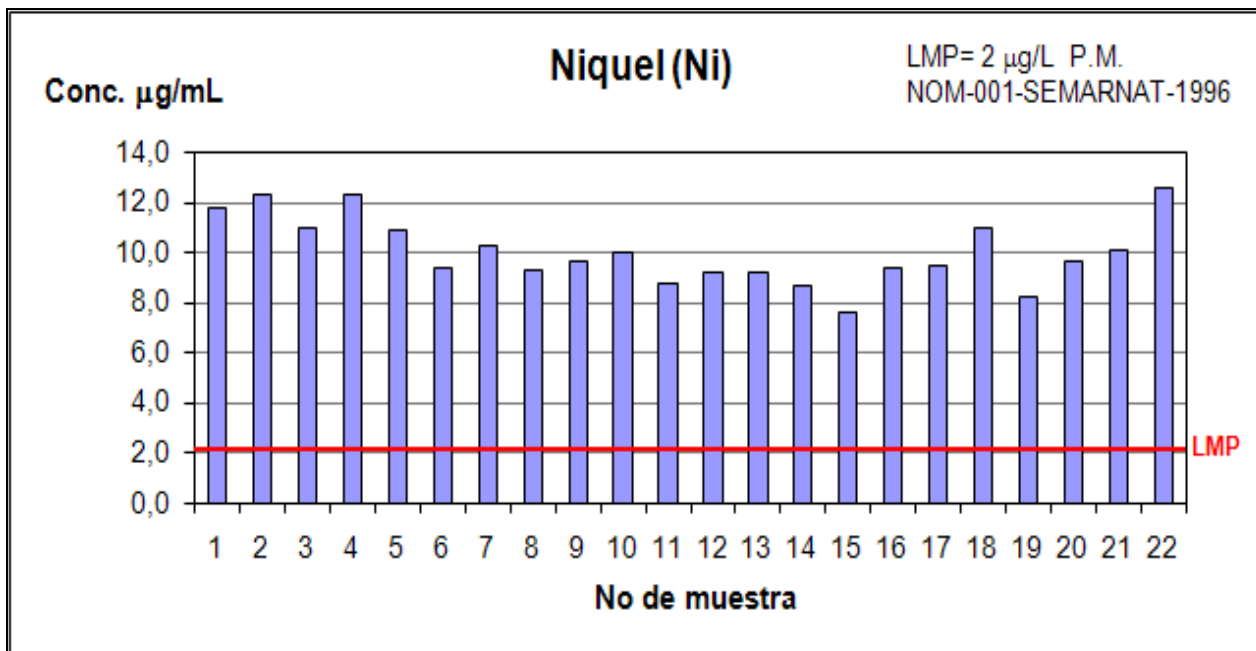
**Figura 6.4** Gráfica con las concentraciones de cromo en 22 muestras de agua analizadas.



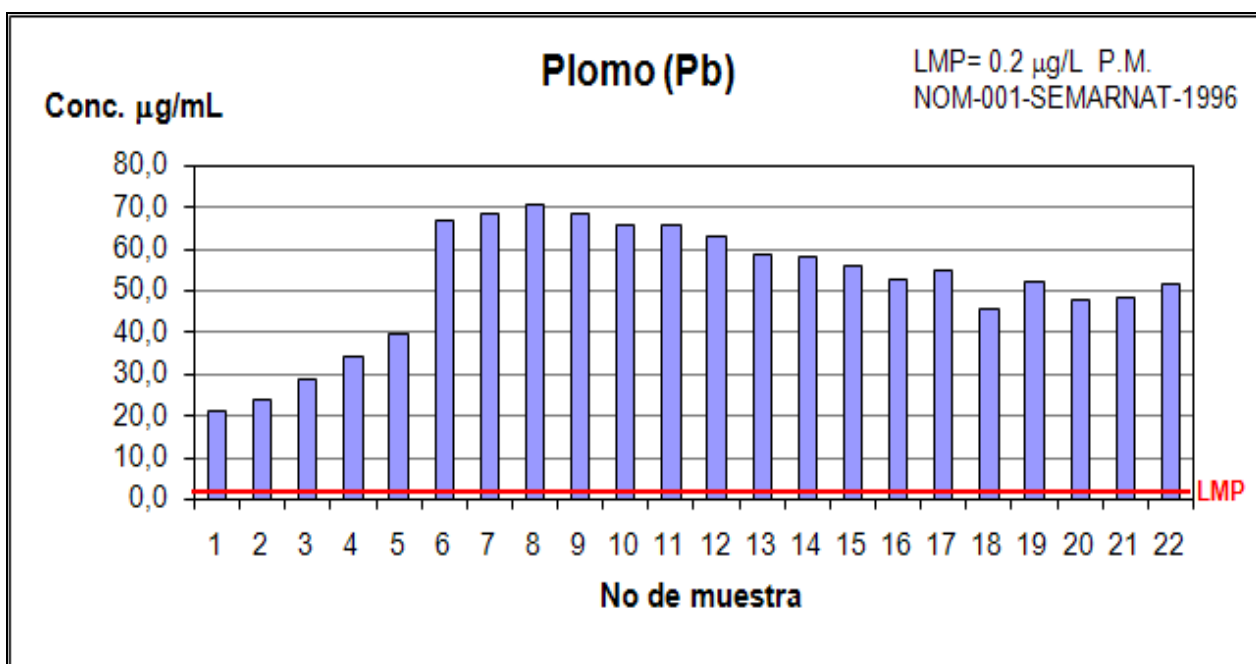
**Figura 6.5** Gráfica con las concentraciones de cobre en 22 muestras de agua analizadas.



**Figura 6.6** Gráfica con las concentraciones de mercurio en 22 muestras de agua analizadas.



**Figura 6.7** Gráfica con las concentraciones de níquel en 22 muestras de agua analizadas.



**Figura 6.8** Gráfica con las concentraciones de plomo en 22 muestras de agua analizadas.

LMP = Límite máximo permisible (NOM-001-SEMARNAT-1996)  
P.M. = Promedio mensual





## 6.2 Evaluación de los Resultados

**Tabla 6.2** Límites máximos permisibles para metales pesados.

Parámetros (*)	RÍOS						LAGOS NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS			
	Uso en riego agrícola µg/L		Uso público urbano µg/L		Protección de vida Acuática µg/L		Uso en riego agrícola µg/L		Uso público urbano µg/L		Explotación pesquera y navegación µg/L		Recreación µg/L	
<b>Metales</b>	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	0.1	0.2	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	0.1	0.2	0.2	0.4
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	<b>4.0</b>	<b>6.0</b>	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	<b>0.5</b>	<b>1.0</b>	0.5	1.0	1	1.5
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	<b>0.005</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.02	0.01	0.02
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	<b>2</b>	<b>4</b>	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	0.2	0.4	0.5	1
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	<b>10</b>	<b>20</b>	10	20	10	20

Fuente: (NOM-001-SEMARNAT-1996)

(\*) = Medidos de manera total.

P.D. = Promedio diario

P.M. = Promedio mensual

Todas las concentraciones obtenidas de los metales pesados en las muestras de agua del Lago de Aragón se compararon con los límites máximos permisibles para metales totales en lagos naturales y artificiales que rige la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Tabla 6.2) y en cuanto a su toxicidad con los límites máximos permisibles en vida acuática de agua dulce que sugiere la USEPA mencionados en el capítulo 3. En las gráficas de resultados (Figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8) se observa que se rebasa el LMP de arsénico, cinc, cromo, níquel y plomo en la mayoría de las muestras analizadas.



En el caso del mercurio, ninguna de las muestras resultó estar por arriba de las concentraciones permisibles, para el cadmio y cobre solo una muestra se encuentra fuera del LMP. Las aportaciones de metales pesados al lago de Aragón probablemente provengan en una poca proporción de la planta de tratamiento que lo abastece de agua, pero en gran parte del material sólido que los visitantes desechan en él.

### **Metales pesados totales**

**Arsénico.** De acuerdo al límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para arsénico que es de  $0.1\mu\text{g/L}$ , los resultados obtenidos se encuentran muy por encima de éste valor en todas las muestras, gran cantidad de la aportación de arsénico al lago se debe a que se utilizan plaguicidas y fertilizantes en sus alrededores donde hay plantas y árboles. En cambio comparando también los resultados con el LMP de la USEPA para la toxicidad que es de  $440\mu\text{g/L}$  en vida acuática de agua dulce, todas las muestras están por debajo de esta concentración.

**Cadmio.** El límite máximo permisible de cadmio en lagos naturales y artificiales según la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de  $0.1\mu\text{g/L}$  y comparando los resultados obtenidos se observa que solo en la muestra 16 que se tomó cerca de las isletas que se encuentran en la sección mayor del claro norte se presenta una concentración mayor a la estipulada por la norma la cual tiene un valor de  $0.1270\mu\text{g/L}$ . La concentración permisible que sugiere la USEPA para la toxicidad del cadmio en agua dulce es alrededor de  $30\mu\text{g/L}$  lo cual indica que las concentraciones reportadas están dentro del límite.

**Cinc.** Comparando el límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para el cinc que es de  $10\mu\text{g/L}$  con las concentraciones de las muestras, la mayoría están por encima de la recomendada, sólo dos muestras presentaron una concentración más baja que fueron la 15 que se encuentra cerca de las dos isletas situadas en la sección mayor del claro norte y la 19 tomada cerca del influente en la misma sección con



7.8 $\mu\text{g/L}$  y 9.2 $\mu\text{g/L}$  respectivamente. No se compararon valores de toxicidad para cinc ya que no se encontraron los LMP de la USEPA.

**Cobre.** Todas las muestras de cobre resultaron estar dentro del límite máximo permisible que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996 el cual es de 4 $\mu\text{g/L}$  exceptuando la muestra 14 recolectada en la sección mayor del claro norte, que con un valor de 8.1 $\mu\text{g/L}$  supera dicho LMP. No se compararon valores de toxicidad para cobre ya que no se encontraron los LMP de la USEPA.

**Cromo.** Todas las muestras presentaron altas concentraciones de cromo rebasando el límite permisible que es de 0.5 $\mu\text{g/L}$  en lagos naturales y artificiales de la NOM-001-SEMARNAT-1996, la menor concentración que se reporta es de 1.0 $\mu\text{g/L}$  en la muestra 22 tomada en la sección menor del claro norte, pero todas las demás muestras están por encima de 3 $\mu\text{g/L}$ . En cuanto a la toxicidad del cromo, la USEPA sugiere una concentración permisible de 11 $\mu\text{g/L}$  en vida acuática de agua dulce, por lo que los resultados obtenidos se encuentran dentro de éste LMP.

**Mercurio.** Como se puede observar en la tabla de resultados 6.1 y en la figura 6.6, ninguna de las muestras analizadas presenta concentraciones de mercurio fuera del límite máximo permisible que es 0.005 $\mu\text{g/L}$  según la NOM-001-SEMARNAT-1996, siendo éste el único caso en el que no podríamos hablar de problemas de contaminación por mercurio. El LMP en agua dulce de la USEPA en cuanto a la toxicidad es de 1.1 $\mu\text{g/L}$  por lo que el límite permisible tampoco se rebasa en ninguna de las muestras ya que en todos los casos se presentó la misma concentración con un valor de 0.0044 $\mu\text{g/L}$ .

**Níquel.** En todas las muestras, también se presentaron concentraciones por encima del LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 2 $\mu\text{g/L}$ . La muestra que resultó con una menor concentración fue la 15 ubicada en la sección mayor del claro norte con 7.6 $\mu\text{g/L}$  de níquel. La USEPA sugiere un LMP de 130 $\mu\text{g/L}$  aproximadamente en la vida



acuática de agua dulce lo cual indica que en este caso todas las muestras presentaron concentraciones de níquel aceptables.

**Plomo.** El LMP de concentraciones de plomo de la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de  $0.2\mu\text{g/L}$  y en este caso todas las muestras rebasaron con un margen muy alto las concentraciones de plomo sugeridas por la norma, los factores más probables de la deposición de los compuestos de plomo en el lago de Aragón son las pilas desechadas por los visitantes y el empleo de insecticidas en las áreas verdes. En cuanto a la toxicidad, las concentraciones de plomo para todas las muestras se encuentran por debajo del LMP de la USEPA el cual es aproximadamente de  $200\mu\text{g/L}$ .

**NOTA:** Cabe mencionar que en el muestreo, limpieza y uso de material se pueden tener aportaciones no deseadas de metales pesados que pueden variar los resultados obtenidos a través del análisis de las muestras de agua.

### **Temperatura**

Los datos de temperatura que se obtuvieron durante el muestreo se mantuvieron entre  $15$  y  $22^{\circ}\text{C}$  como se observa en la (Tabla 5.1), indicando que no hay mucha variación dentro del lago. Revisando estos valores se encuentra que la zona con temperaturas más bajas está en el claro sur del lago de acuerdo a las muestras 6, 7 y 12. La zona con temperaturas más altas de acuerdo a las muestras 16, 17, 18, 19 y 21 se sitúa en la sección mayor del claro norte cerca del influente ubicado en el punto 18B. La medición de temperaturas se realizó en época invernal alrededor del medio día.

### **pH**

En todas las muestras las mediciones de pH fueron muy similares, se encuentran en un intervalo de 10.7 hasta 11.9 unidades de pH. El valor mínimo se



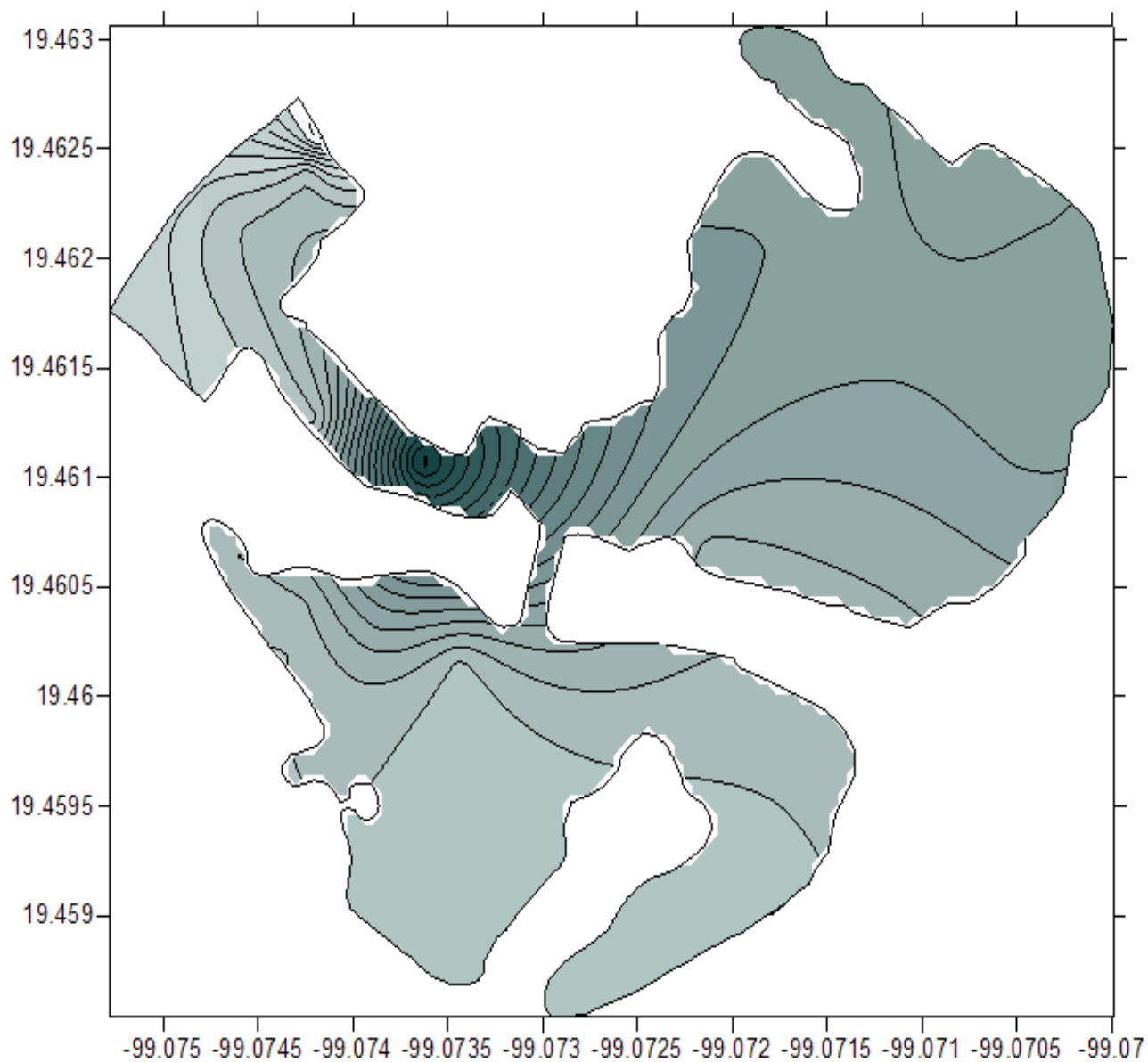
encuentra en la muestra 18 situada en el influente de la sección mayor del claro norte y el valor máximo lo obtuvieron las muestras 12 y 14 ubicadas en el claro sur y en la sección mayor del claro norte respectivamente. Como resultado el lago al tener en todas sus zonas un pH básico, no se favorece la solubilidad de algunos metales pesados lo cual nos indica que si hubiera valores más bajos de pH en el lago, los resultados de los análisis de las muestras hubieran presentado concentraciones más altas de metales que las obtenidas.

### 6.3 Aplicación del Surfer 8

En las figuras 6.9, 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 y 6.16 que se hicieron mediante la simulación con el programa Surfer 8 se puede apreciar que las zonas más oscuras es donde se presenta la mayor concentración de metales pesados para cada caso y viceversa las zonas más claras es donde existe la menor concentración.



### Arsénico

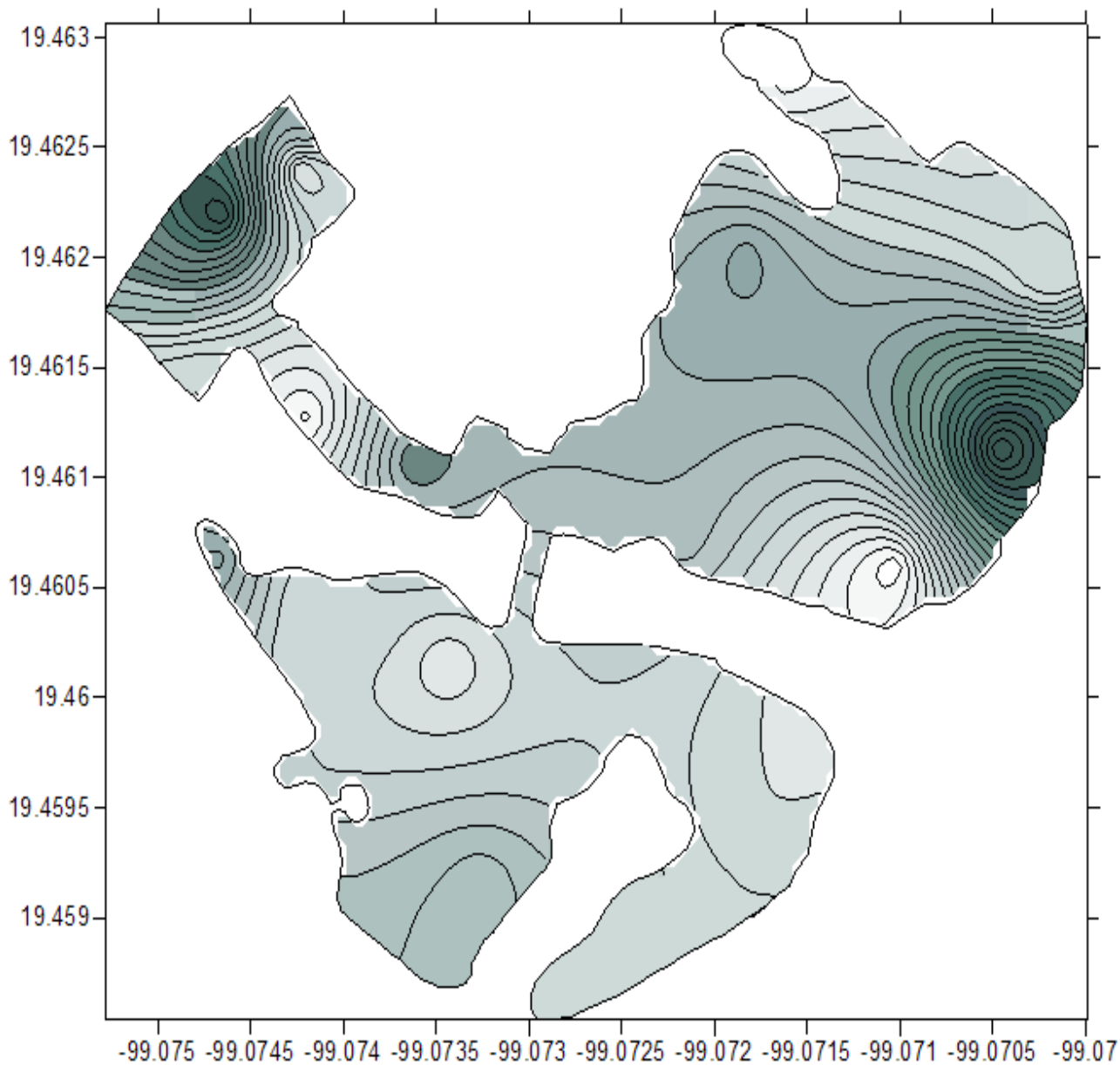


**Figura 6.9** Distribución de concentraciones de arsénico en el lago de San Juan de Aragón

Las mayores concentraciones de cinc se presentan entre la sección menor y la sección mayor del claro norte donde fueron tomadas las muestras 5 y 21. Las concentraciones más bajas se encuentran en el claro sur donde se tomaron las muestras 11,12 y 13 (Figura 6.9).



## Cadmio

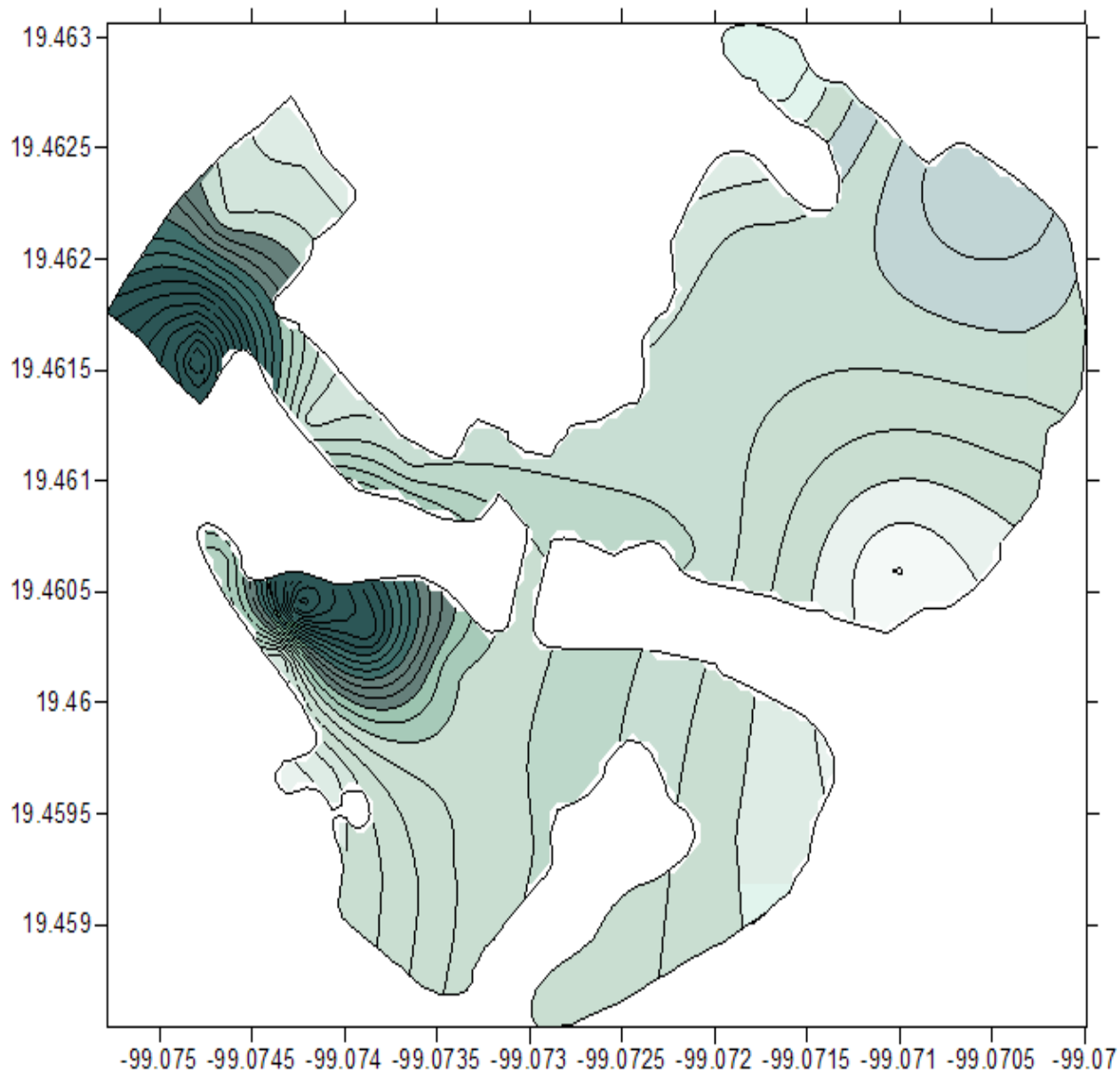


**Figura 6.10** Distribución de concentraciones de cadmio en el lago de San Juan de Aragón

Las mayores concentraciones de cadmio se presentan en la sección menor y mayor del claro norte donde fueron tomadas las muestras 3 y 16. Las concentraciones más bajas se encuentran en el claro sur donde se tomaron las muestras 7 y 13 (Figura 6.10).



## Cinc



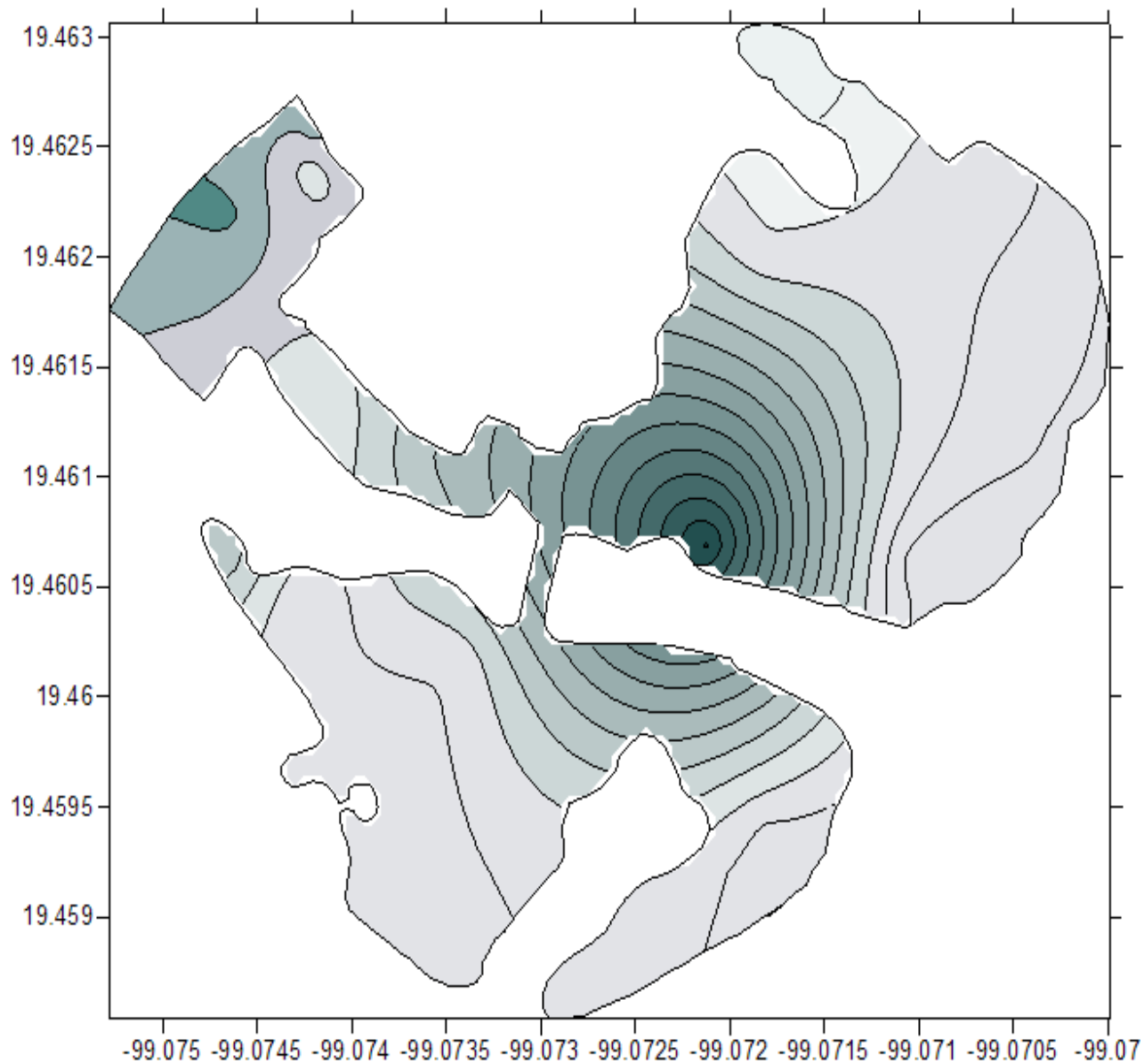
**Figura 6.11** Distribución de concentraciones de cinc en el lago de San Juan de Aragón

Las mayores concentraciones de cinc se presentan en la sección menor del claro norte cerca de las isletas donde fue tomada la muestra 4 y en el claro sur donde fueron tomadas las muestras 8 y 9. Las concentraciones más bajas se encuentran en el claro sur donde se tomaron las muestras 15 y 13 (Figura 6.11).





## Cobre

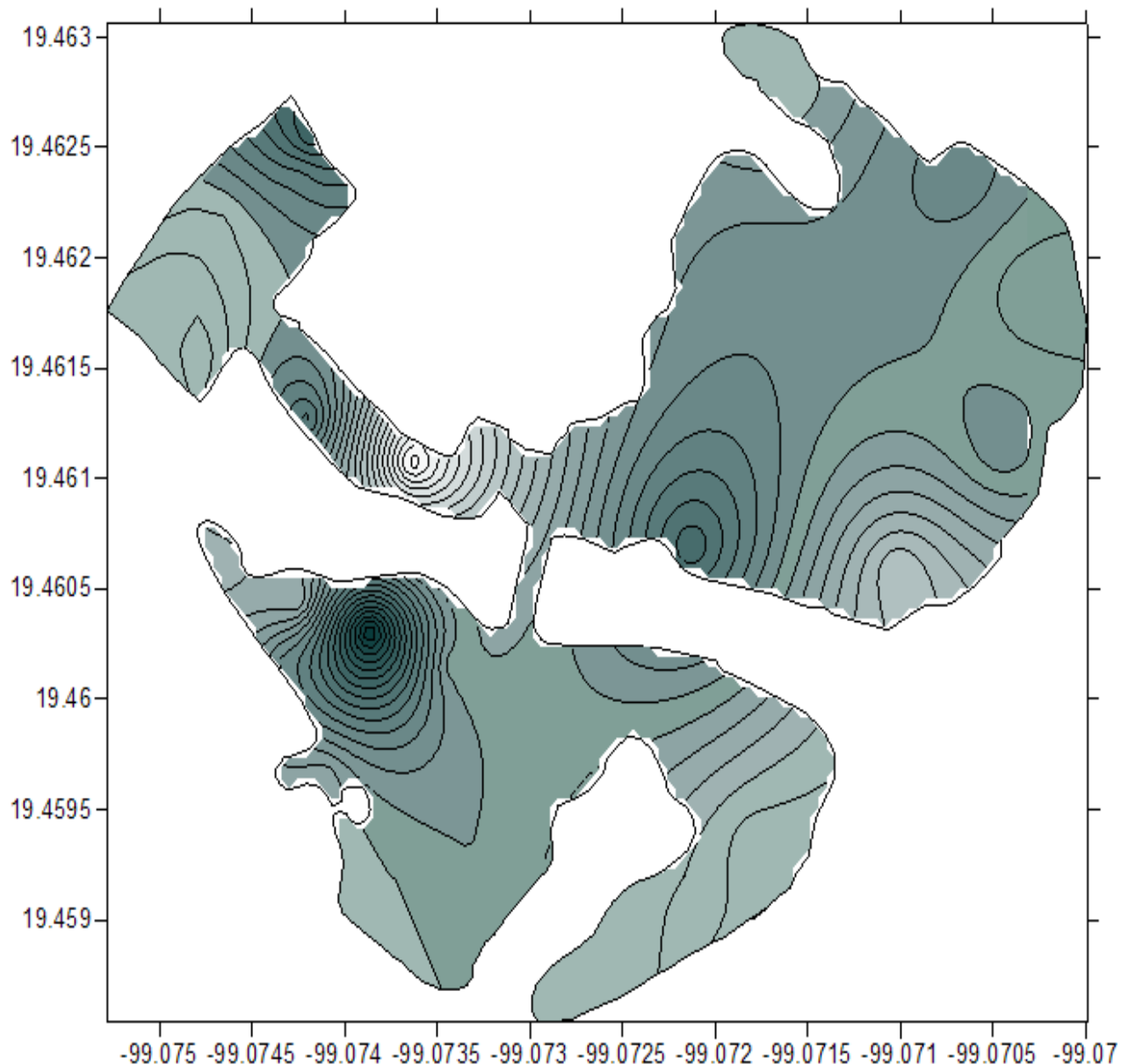


**Figura 6.12** Distribución de concentraciones de cobre en el lago de San Juan de Aragón

Las mayores concentraciones de cobre se presentan en la sección mayor del claro norte donde fue tomada la muestra 14 y en la sección menor del claro norte donde fue tomada la muestra 3. Las concentraciones más bajas se encuentran en el claro sur donde se tomaron las muestras 10, 11, 12 y 13 (Figura 6.12).



## Cromo

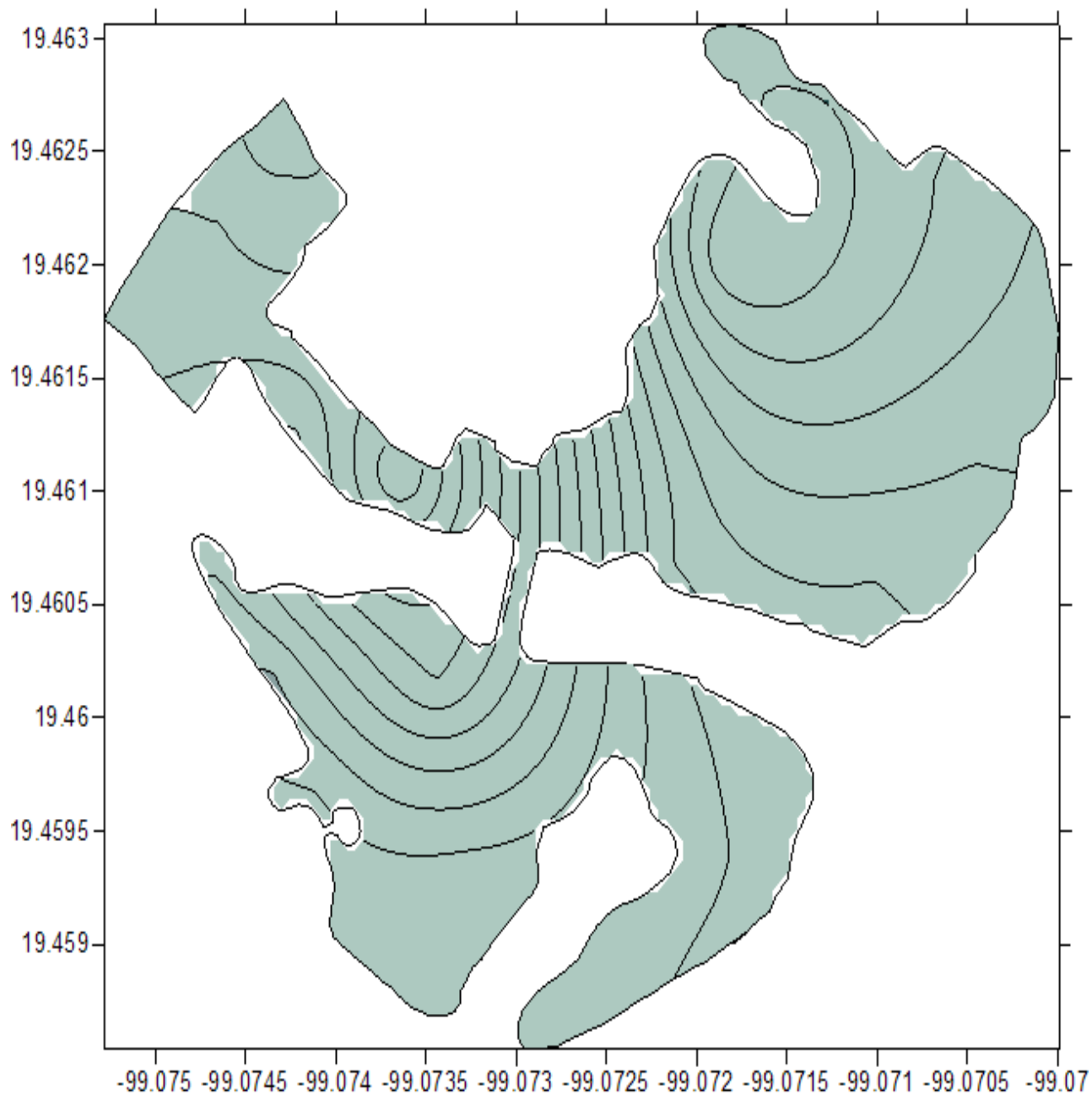


**Figura 6.13** Distribución de concentraciones de cromo en el lago de San Juan de Aragón

En el caso del cromo se observa que en los dos claros del lago existen zonas con concentraciones altas, más específicamente en donde se tomaron las muestras 1, 8, 14 y 18. Las concentraciones más bajas se encuentran en el claro sur donde se tomó la muestra 13 (Figura 6.13).



## Mercurio

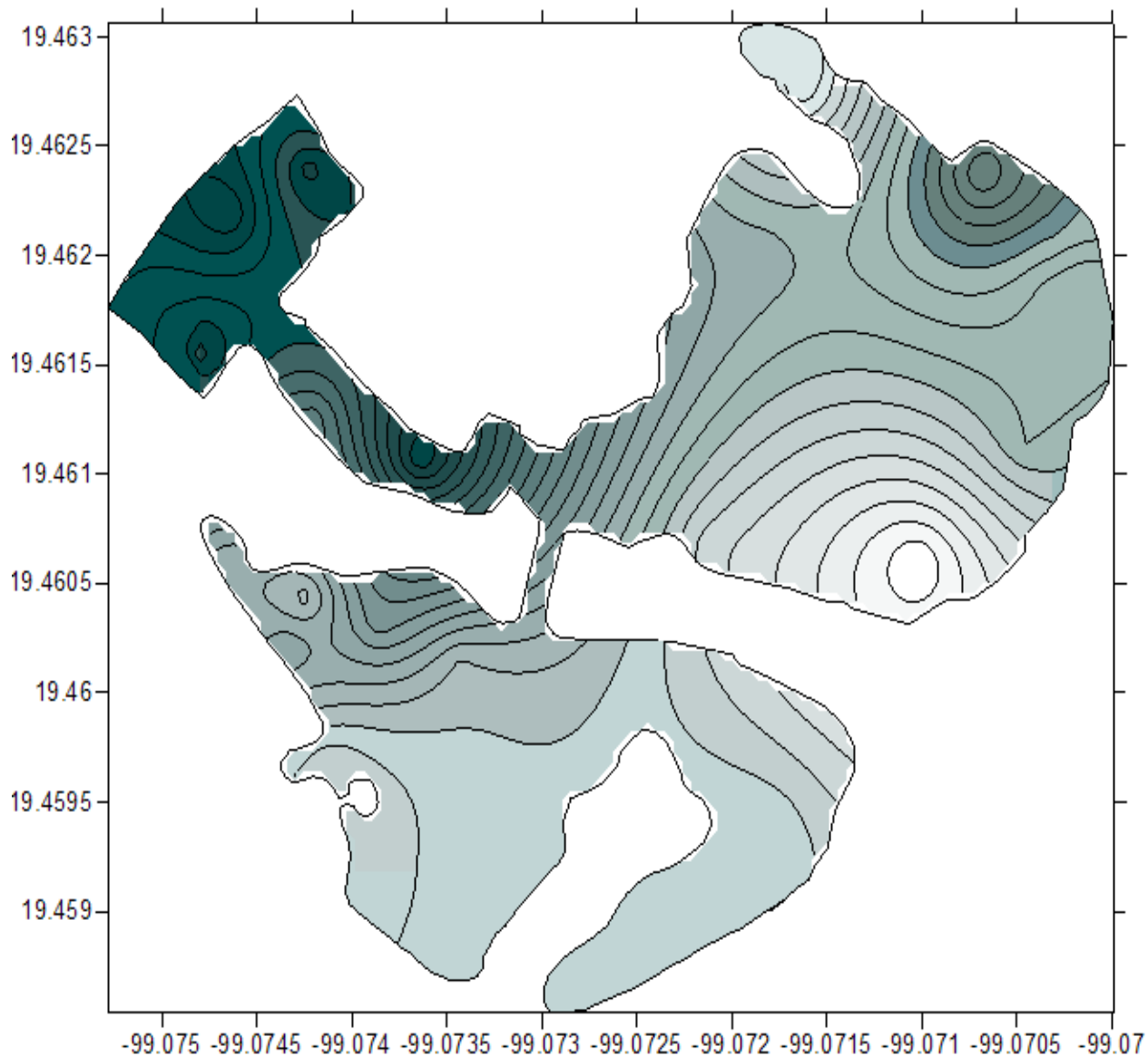


**Figura 6.14** Distribución de concentraciones de mercurio en el lago de San Juan de Aragón

En el caso del mercurio en todas las zonas del lago se presenta la misma concentración de este metal pesado. (Figura 6.14).



## Níquel

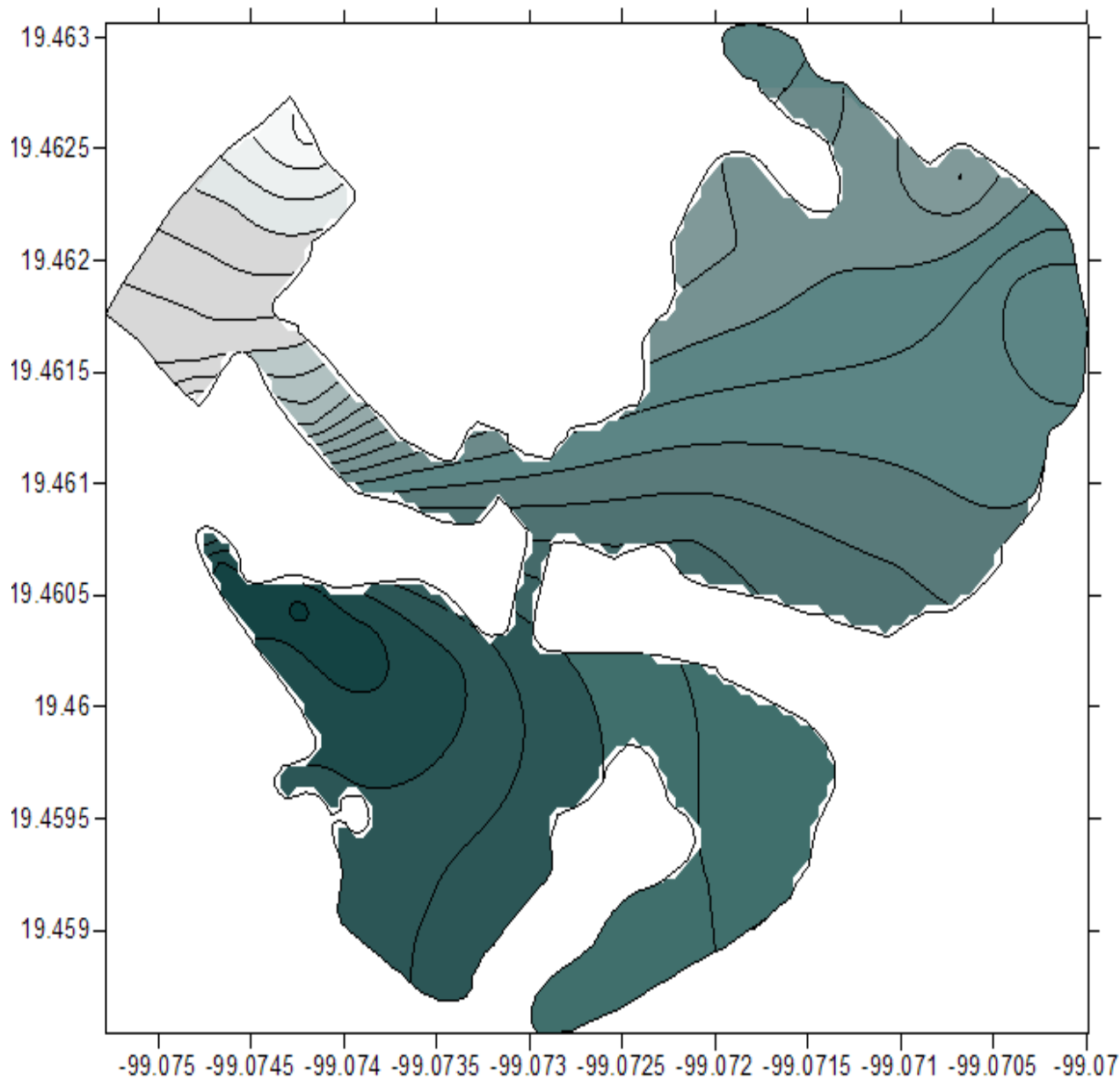


**Figura 6.15** Distribución de concentraciones de níquel en el lago de San Juan de Aragón

Las mayores concentraciones de níquel se presentan en casi toda la sección menor del claro norte, en la parte del lago que comunica la sección menor y la sección mayor del claro norte donde fueron tomadas las muestras 5 y 21 y por último en el influente donde se tomó la muestra 18. Las concentraciones más bajas se encuentran en la sección mayor del claro norte donde se tomó la muestra 15 (Figura 6.15).



## Plomo



**Figura 6.16** Distribución de concentraciones de plomo en el lago de San Juan de Aragón

Las mayores concentraciones de plomo se presentan en el claro sur, donde fueron tomadas las muestras 7, 8, 9 y 10. Las concentraciones más bajas se encuentran en la sección menor del claro norte donde se tomaron las muestras 1, 2 y 3 (Figura 6.16).



# CAPÍTULO 7

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

Mediante el análisis de las 22 muestras puntuales de agua superficial que se tomaron del lago de San Juan de Aragón se determinó la presencia de algunos de los metales pesados totales más importantes mediante la técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica y los resultados obtenidos que se presentan en la (Tabla 6.1) se compararon con los límites máximos permisibles que sugiere la NOM-001-SEMARNAT-1996 de la (Tabla 6.2) observando que la mayoría de las muestras que se analizaron rebasan los límites máximos permisibles y en algunos casos por un margen considerable lo cual es un problema que afecta a especies acuáticas (peces, tortugas, ajolotes) y terrestres (patos, gansos, garzas, etc.) existentes en el lago. Por todo esto se puede concluir que el lago de Aragón tiene un grave problema de contaminación por metales pesados principalmente por arsénico, cromo, níquel y plomo, los cuales se encuentran en mayor concentración que los demás metales analizados.

Por medio de la simulación realizada con el programa surfer 8 se puede observar claramente en los mapas (figuras 6.9 a 6.16) la distribución de cada uno de los metales pesados en cuestión, presentes en el lago de San Juan de Aragón, los cuales tienden a acumularse en su mayoría en las dos secciones del claro norte como en el caso del arsénico, cadmio, cobre, cromo y plomo.



Esto se puede deber a que la mayor parte de la gente ya sean visitantes y trabajadores se concentra más en dichas zonas, lo cual indica que es más probable el desecho de materiales sólidos en particular pilas que puedan contener metales pesados y así aumentar la contaminación en este cuerpo de agua.

## 7.2 Recomendaciones

- Realizar un seguimiento del lago determinando periódicamente metales pesados y estudiando la manera de utilizar tecnología con costos accesibles y que sea eficiente como por ejemplo el diseño de humedales artificiales para que contribuyan a la limpieza y eliminación de impurezas del lago y así mantener las concentraciones de metales por debajo de los límites permisibles conforme a la normatividad.
- Hacer un análisis del agua de la planta de tratamiento de Tlacos y de los influentes del lago para verificar si el agua que es alimentada al lago contribuye al aumento de metales pesados utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.
- Para obtener los datos de altitud y latitud del lago, utilizar un sistema GPS para que éstos sean mas exactos y ayuden a realizar la simulación de una manera mas sencilla.
- Crear conciencia en las personas que visitan el lago para que no desechen sólidos al agua implementando más personal de seguridad y si es necesario aplicar medidas más estrictas como algunas multas o el ser evacuado del bosque.



## CAPÍTULO 8

# REFERENCIAS

- Arcos S. M. E., Fernández V. G., Navarrete R. M. E., Espíndola Z. M., Becerril A. J., 1994. Transporte, destino y toxicidad de constituyentes que hacen peligrosos a un residuo. Editorial Centro Nacional de Prevención de Desastres, 1ª edición. Pp. 16-31, 55-59, 106-112, 113-117, 129-133.
- Klaassen O. C., Watkins B. J.III., Cassaret & Doull, 2001. Manual de Toxicología: The basic science of poisons. 5ta edición, Mac-Graw Hill. Pp. 664-704.
- Albert L. A., 2004. Toxicología ambiental. Universidad Nacional de Ciudad Juárez, Pp. 61-75, 217-291.
- Centre for Ecological Sciences Indian Institute of Science. Bangalore, INDIA, Disponible en World Wide Web:  
<http://www.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol320.htm>
- Cervantes C., Moreno-Sánchez R, 1999. Contaminación ambiental por metales pesados. Editorial A.G.T. EDITOR, S.A. 1ª edición México D.F. Pp. 1-23, 117-119.
- Copyright © 1998 Lenntech. Agua residual & purificación del aire. Holding B.V. Rotterdamseweg 402 M. 2629 HH Delft.  
<http://www.lenntech.com/espanol/metales%20pesados.htm>  
<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/htm>
- <sup>1</sup>Del Río A. M., <sup>2</sup>Luna E. J. A., 2007. Copyright © 2001-2002 Estrucplan Consultora S.A. Argentina; 1. Departamento de Ingeniería de Proyectos, CUCEI, Universidad de





- Guadalajara; 2. Escuela Politécnica de Guadalajara, SEMS Universidad de Guadalajara. Disponible en World Wide Web:
- <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=1533>
  - Fundación Mapfre Medicina, 1996. Metales pesados tóxicos: Normativa actual y técnicas de análisis. Editorial Mapfre S.A., Madrid España. Pp. 4-23.
  - Harrison M. Roy, 1999. El medio ambiente (Introducción a la química medioambiental y a la contaminación). Editorial Acribia S.A., Zaragoza España, 3ª edición, Pp. 116-135.
  - Lomelí R. M. G., Tamayo O. R., Ilarraza L. A. 2001. Contaminación de metales pesados, Disponible en Worl Wide Web:  
[http://www.sagan-gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/15agua.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/15agua.html)  
<http://www.sagan-gea.org/hojared/portada1.htm>
  - Mason C.F. 1984. Biología de la contaminación del agua dulce. Editorial Alambra, S.A. 1ª edición, Madrid España. Pp. 76,77.
  - Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, [citado 13-08-2003], <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=42>
  - Scragg A, 1999. Biotecnología medioambiental. Editorial Acribia S.A., Zaragoza España, 1ª edición, Pp. 129-134.
  - Norma mexicana *NMX-AA-051-SCFI-2001*. Análisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación).



- Norma oficial mexicana *NOM-001-SEMARNAT-1996*. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación.)
- Norma oficial mexicana *NOM-003-SEMARNAT-1996*. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación.)



## GLOSARIO

**Aguas naturales:** Se define como agua natural el agua cruda, subterránea, de lluvia, de tormenta, residual y superficial.

**Aguas residuales:** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

**Aguas residuales tratadas:** Son aquellas que durante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

**Carcinógeno:** Agentes físicos o químicos capaces de inducir la aparición de tumores malignos.

**Cisteína:** Aminoácido esencial que se encuentra libre, en asociaciones peptídicas, (pelo, piel, uñas, etc.).

**Cromosomas:** Elemento compuesto por ADN y proteínas básicas que existe en el interior del núcleo y desempeña un papel muy importante en la división celular y en la transmisión de los caracteres hereditarios.

**Disnea:** Es la sensación subjetiva de dificultad respiratoria o falta de aire.

**Dosis:** Es la cantidad de una sustancia que es administrada a un organismo por unidad del peso corporal, en un tiempo determinado, y bajo condiciones controladas.

**Edema pulmonar:** Acumulación anormal de líquido en los pulmones.



**Epitelio:** Tejido formado por células que recubren los órganos huecos y las glándulas, y que forman la superficie exterior del cuerpo. Las células epiteliales ayudan a proteger o encerrar los órganos y algunas producen moco u otras secreciones.

**Fibrosis:** Es una enfermedad hereditaria. Consiste en una alteración genética que dificulta la producción de una proteína que regula el paso del cloro y el sodio a través de las membranas celulares.

**Gingivitis:** Enfermedad bacteriana que provoca inflamación y sangrado de las encías.

**Hemoglobina:** Es una proteína de la sangre, de peso molecular 64.000 (64 kD), de color rojo característico, que transporta el oxígeno desde los órganos respiratorios hasta los tejidos, en mamíferos, ovíparos y otros animales.

**Ictericia:** Síndrome caracterizado por un exceso de pigmentos biliares en la sangre, que impregnan la piel y las mucosas.

**Limo:** Es un material suelto con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados.

**Mutágeno:** Agentes físicos o químicos capaces de inducir a la mutación. Cambio hereditario brusco en el material genético.

**Miocardio:** Es el tejido muscular del corazón.

**Nefrotóxico:** Afección renal caracterizada por lesiones en el riñón.

**Neurotóxico:** Afección al sistema nervioso.



**Promedio mensual (P.M.):** Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

**Quelato:** Compuesto químico de coordinación cuyo ligante se coordina con el ión central mediante puntos de fijación en pinza.

**Sistema endocrino:** Conjunto de agrupaciones celulares cuyos productos de secreción se vierten en la sangre.

**Sistema nervioso:** Conjunto de órganos, formado por tejido nervioso, cuya misión es la regulación y el control de todas las funciones del organismo.

**Sistema radicular:** En jardinería se denomina así al conjunto de raíces.

**Teratogénico:** Que se generan malformaciones.

**Toxicología:** Es una rama de la farmacología que estudia la naturaleza o acción de los venenos, así como su detección y antídoto. Estudia las sustancias que provocan efectos indeseables en el organismo.

**Toxicidad:** Es la capacidad de una sustancia para causar daño a un organismo vivo. Una sustancia altamente toxica causará lesión a un organismo aún si se administra en cantidades muy pequeñas y una sustancia de baja toxicidad no producirá efecto, a menos que la cantidad administrada sea muy grande.

**Toxina:** Son proteínas que causan daños concretos a un huésped.

Fuente: Diccionario Enciclopédico Océano Uno, 1990.



## ANEXO 1

# FUENTES DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS Y EFECTOS EN EL SER HUMANO

Este estudio se centra principalmente en el lago de Aragón lo cual indica que es difícil que la contaminación de éste cuerpo de agua afecte de manera directa a los visitantes, sin embargo es importante conocer tanto las fuentes de contaminación que provienen del ser humano como el daño que pueden causar los metales pesados a él ya que algunos ecosistemas están expuestos a la contaminación por metales y en algunos casos también puede llegar a afectar al ser humano que habita cerca de ríos, lagos y mares.

### ARSÉNICO

El arsénico elemental es uno de los pocos minerales disponibles con un 99.9999+ % de pureza. En el estado sólido se ha empleado ampliamente en los materiales láser y como agente acelerador en la manufactura de varios aparatos. El óxido de arsénico se utiliza en la elaboración de vidrio. Los sulfuros de arsénico se usan como pigmentos y en juegos pirotécnicos. El arseniato de hidrógeno se emplea en medicina, así como otros compuestos de arsénico. La mayor parte de la aplicación medicinal de los compuestos de arsénico se basa en su naturaleza tóxica (Lenntech, 1998).

Las fuentes antropogénicas tales como fertilizantes, plaguicidas, emisión de fundiciones y combustión de energéticos fósiles, contribuyen de manera importante a la liberación de arsénico al ambiente (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999);

#### ***Efectos del arsénico sobre la salud***

La intoxicación aguda en seres humanos produce diversas alteraciones dérmicas (melanosis), neurológicas (convulsiones, coma), intestinales (diarrea, vómito, anorexia), hepáticas (cirrosis), renales, sanguíneas (anemia) y cardíacas (fibrilación



ventricular, taquicardia). La exposición prolongada al arsénico causa cirrosis hepática y cáncer en seres humanos, además de hepatomegalia (enfermedad del hígado), degeneración celular e ictericia (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

La exposición al arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con este metal, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservadores de la madera y gente que vive en granjas donde el arsénico de los plaguicidas ha sido aplicado en el pasado. La exposición al arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. (Lenntech, 1998).

Exposiciones muy altas de arsénico inorgánico pueden causar infertilidad y abortos en mujeres, pueden causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el Arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El arsénico orgánico no pueden causar cáncer, ni tampoco daño al ADN, pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago (Lenntech, 1998).

La exposición crónica a compuestos de arsénico inorgánico puede dar pie a neurotoxicidad de los sistemas nerviosos tanto periférico como central. La neurotoxicidad regularmente empieza con cambios sensitivos, hipersensibilidad muscular, seguidos por debilidad. El arsénico es un carcinógeno y puede haber dos tipos celulares de cáncer cutáneo inducido por arsénico. La exposición ocupacional a arsénico transportado por el aire también puede vincularse con cáncer pulmonar (Klaassen y Watkins, 2001).

El ciclo del arsénico ha sido ampliado como consecuencia de la interferencia humana y debido a esto, grandes cantidades de arsénico terminan en el ambiente y en organismos vivos. El arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias



productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura. Este no puede ser destruido una vez que ha entrado en el ambiente, así que puede esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra (Lenntech, 1998).

## **CADMIO**

La contaminación del agua por cadmio es provocada por las principales áreas de aplicación que arrojan sus desechos a las alcantarillas, como son el acabado de metales, la electrónica, la manufactura de pigmentos (pinturas y agentes colorantes), de baterías (cadmio níquel), de estabilizadores plásticos, de plaguicidas (fungicidas), la electrodeposición o la aleaciones de hierro, en la producción de hierro y zinc y en el uso de reactores nucleares (Lomelí y Tamayo, 2001).

El cadmio se utiliza en la fabricación de electrodos para lámparas de vapor de cadmio, acumuladores alcalinos, células fotoeléctricas y como desoxidante en el niquelado de los metales. También los compuestos de este metal encuentran diversas aplicaciones en la industria: el óxido de cadmio en galvanoplastia, cerámica, esmaltes, fabricación de semiconductores, como catalizador en síntesis orgánica, como pigmento para pinturas, tintes, tejidos, papel, caucho, plásticos, cerámica y pirotecnia; los cristales de sulfuro de cadmio son necesarios para la fabricación de las células fotovoltaicas destinadas a los paneles de energía solar; los seleniuros de cadmio constituyen los pigmentos rojo y naranja de cadmio y se usan en los semiconductores, células y como aditivo de los elastómeros; el cloruro de cadmio encuentra aplicaciones en fotografía, galvanoplastia, fabricación de espejos, tubos de vacío y como amarillo de cadmio (Mapfre, 1999).

### ***Efectos del cadmio sobre la salud***

El cadmio es tóxico y el envenenamiento se produce al inhalarlo o ingerirlo, tiene gran tendencia a formar compuestos complejos acuosos. Sus compuestos más





importantes en la industria son el cianuro, la amina y varios complejos de haluros (Estrucplan, 2007).

La intoxicación aguda por cadmio presenta síntomas como son disnea, edema pulmonar, debilidad, fatiga, anorexia, severas alteraciones hepáticas y renales; vómito, diarrea, náuseas, dolores abdominales y musculares. La mayor acumulación corporal de cadmio ocurre en el hígado y el riñón, pero también en el cerebro fetal. Las principales fuentes de exposición al cadmio son la actividad industrial y el tabaco. (Mapfre, 1999).

*Principales riesgos de intoxicación por cadmio* (Mapfre, 1999).

- Riesgos laborales
- Soldadura: inhalación de vapores (óxidos).
- Metalurgia (del Cd, Zn y Pb). Baterías.
- Cadmiado de piezas. Aleaciones.
- Fabricación y uso de pigmentos (amarillo y rojo de cadmio).

*Riesgos no laborales*

Alimentación: es la fuente principal [pescados marinos, crustáceos, productos lácteos, cereales, carnes (hígado/riñones)].

- Tabaco.
- Abonos (superfosfatos).
- Cantidades despreciables en el agua potable y en aire ambiental.

En seres humanos, la exposición a largo plazo se asocia a la disfunción renal. La alta exposición puede conducir a la enfermedad obstrucciona del pulmón y se ha ligado al cáncer de pulmón, aunque los datos referentes al último son difíciles de interpretar debido a los diferentes factores que originan el cáncer. El cadmio puede también producir efectos en el tejido óseo en seres humanos y los animales. Además,



el cadmio también puede estar relacionado con un aumento de la presión arterial y efectos sobre el miocardio de los animales, aunque la mayoría de los datos humanos no apoyan estos resultados (Lenntech, 1998).

Dado que se trata de un metal que se acumula en el organismo vivo, la ingesta de pescados marinos, crustáceos, productos lácteos, cereales y carnes (hígado y riñones) contaminados es la fuente principal de cadmio para el ser humano (10 a 30 microgramos/día). Se consideran despreciables las cantidades de cadmio del agua para beber y del aire ambiental (Lenntech, 1998).

#### **Criterios de calidad del agua (USEPA):**

Salud humana

Criterio: 10µg/L

### **CINC**

El cinc es una sustancia muy común que ocurre naturalmente. Muchos alimentos contienen ciertas concentraciones de cinc. El agua potable también contiene cierta cantidad de cinc, la cual puede ser mayor cuando es almacenada en tanques de metal. Las fuentes industriales o los emplazamientos para residuos tóxicos pueden ser la causa del cinc en el agua potable llegando a niveles que causan problemas (Lenntech, 1998).

Los usos más importantes del cinc los constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con cinc se denominan galvanizados, y esto puede hacerse por inmersión del artículo en cinc fundido (proceso de hot-dip), depositando cinc electrolíticamente sobre el artículo como un baño chapeado (electro galvanizado), exponiendo el artículo a cinc en polvo cerca de su punto de fusión o rociándolo con cinc fundido (metalizado) (Lenntech, 1998).



El cinc ocurre de forma natural en el aire, agua y suelo, pero las concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido a la adición de cinc a través de las actividades humanas. La mayoría del cinc es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de cinc está todavía creciendo. Esto significa básicamente que más y más cinc termina en el ambiente (Lenntech, 1998).

Los mariscos, carnes, granos integrales, productos lácteos, nueces y legumbres tienen alto contenido de cinc en tanto los vegetales tienen un contenido más bajo, aunque los vegetales en crecimiento captan el cinc que se aplica al suelo. Las concentraciones de cinc en la atmósfera son más altas en áreas industriales. La ingestión diaria promedio es de alrededor de 12 a 15 mg, la mayor parte proveniente de los alimentos (Klaassen y Watkins, 2001).

### ***Efectos del cinc sobre la salud***

El cinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe muy poco cinc puede experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor, el olor, presentar pequeñas llagas y erupciones cutáneas. La acumulación del cinc puede incluso producir defectos de nacimiento (Lenntech, 1998).

En lo que se refiere a la exposición industrial, la fiebre por humo de metal originada por inhalación de humos de cinc recién formados representa el efecto más importante. Este trastorno se ha relacionado más a menudo con inhalación de humos de óxido de cinc, pero puede observarse después de inhalación de los humos de otros metales. Los ataques regularmente empiezan después de cuatro a ocho horas de exposición: escalofríos y fiebre, sudación profusa y debilidad (Klaassen y Watkins, 2001).



Incluso los humanos pueden manejar proporcionalmente largas cantidades de cinc, demasiada cantidad de cinc puede también causar problemas de salud eminentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles altos de cinc pueden dañar el páncreas y alterar el metabolismo de las proteínas. Exposiciones al clorato de cinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios (Lenntech, 1998).

El agua es contaminada con cinc, debido a su presencia en grandes cantidades en las aguas residuales de plantas industriales. Estas aguas residuales no son depuradas satisfactoriamente. Una de las consecuencias es que los ríos están depositando fango contaminado con cinc en sus orillas. (Lenntech, 1998).

## **COBRE**

Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales. El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo (Lenntech, 1998).

Las principales aplicaciones de los compuestos de cobre las encontramos en la agricultura, en especial como fungicidas e insecticidas; como pigmentos; en soluciones galvanoplásticas; en celdas primarias; como mordentes en teñido, y como catalizadores. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados. El cobre es a menudo encontrado cerca de minas, asentamientos industriales, vertederos y lugares de residuos (Lenntech, 1998) (Lenntech, 1998).



La producción mundial de cobre está todavía creciendo. Esto básicamente significa que más y más cobre termina en el medioambiente. Los ríos están depositando barro en sus orillas que están contaminadas con cobre, debido al vertido de aguas residuales (Lenntech, 1998).

### ***Efectos del cobre sobre la salud***

Las absorción del cobre es necesaria, porque el cobre es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, mucho cobre puede también causar problemas de salud. La deficiencia de cobre se caracteriza por anemia, originada por síntesis defectuosa de hemoglobina. La intoxicación aguda originada por ingestión de cantidades excesivas de sales de cobre, con mayor frecuencia sulfato de cobre, puede producir la muerte. Los síntomas son vómitos, coma e ictericia. Las anomalías clínicas del sistema nervioso, hígado, riñones y cornea se relacionan con acumulación de cobre (Lenntech, 1998); (Klaassen y Watkins, 2001).

Compuestos solubles del cobre forman la mayor amenaza para la salud humana. Usualmente compuestos del cobre solubles en agua ocurren en el ambiente después de liberarse a través de aplicaciones en la agricultura (Lenntech, 1998).

Las concentraciones del cobre en el aire son usualmente bastante bajas, así que la exposición al cobre por respiración es descartable. Pero gente que vive cerca de fundiciones que procesan el mineral cobre en metal pueden experimentar esta clase de exposición (Lenntech, 1998).

La gente que vive en casas que todavía tienen tuberías de cobre está expuesta a más altos niveles de cobre que la mayoría, porque el cobre es liberado en sus aguas a través de la corrosión de las tuberías (Lenntech, 1998).

El cobre no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales cuando es encontrado en suelos. En suelos ricos en cobre sólo un número



pequeño de plantas pueden vivir. Por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de que manejan cobre, debido a su efecto sobre las plantas, siendo una seria amenaza para la producción en las granjas. El cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto el estiércol que contiene cobre es todavía usado (Lenntech, 1998).

El cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto. Cuando los suelos de las granjas están contaminados con cobre, los animales pueden absorber concentraciones de cobre que dañan su salud. (Lenntech, 1998).

## **CROMO**

El cromo se utiliza en el cemento, aleaciones de metales, pigmentos para las pinturas, el papel, el caucho, y otros materiales. La exposición baja puede irritar la piel y causar la ulceración. La exposición a largo plazo puede causar daño del riñón, del hígado, del sistema circulatorio y del tejido fino nervioso. El cromo se acumula a menudo en la vida acuática, agregando el peligro de comer los pescados que pudieron haber sido expuestos a los altos niveles del cromo (Lenntech, 1998).

También se utiliza como catalizador en la síntesis del amoníaco, en la fabricación de aceros al cromo y aceros inoxidable, en aleaciones con cromo y en el cromado galvánico. Los complejos orgánicos encuentran aplicación como colorantes de relevado en la fotografía color; los compuestos inorgánicos del cromo se utilizan como pigmentos para pinturas. Las sales de cromo (VI) se utilizan ampliamente para la preservación de la madera y para el curtido de cueros (Centre for Ecological Sciences Indian Institute of Science).

Las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de cromo (III) son el acero, las peleterías, las industrias textiles, pintura eléctrica y otras



aplicaciones industriales. Estas aplicaciones incrementarán las concentraciones del cromo en agua. A través de la combustión del carbón el cromo será también emitido al agua y eventualmente se disolverá. El cromo (III) es un elemento esencial para organismos que puede interferir en el metabolismo del azúcar y causar problemas de corazón cuando la dosis es muy baja, también puede alterar el material genético y causar cáncer (Lenntech, 1998).

### ***Efectos del cromo sobre la salud***

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 (Centre for Ecological Sciences Indian Institute of Science).

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 cromo de valencia III es un elemento traza importante para el metabolismo insulínico, tanto en el ser humano como en los animales. También el cromo III es un nutriente esencial para los humanos y la falta de este puede causar condiciones del corazón, trastornos metabólicos y diabetes (Centre for Ecological Sciences Indian Institute of Science).

El cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al cromo. Cuando es un compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, como es erupciones cutáneas. Después de ser respirado el cromo (VI) puede causar irritación y sangrado de la nariz. Otros problemas de salud que son causados por el cromo (VI) son;



- Erupciones cutáneas
- Malestar de estómago y úlceras
- Problemas respiratorios
- Debilitamiento del sistema inmune
- Daño en los riñones e hígado
- Alteración del material genético
- Cáncer de pulmón
- Muerte

Suelo: 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 (Merian, 1984).

El cromo en el ambiente se origina a partir de fuentes industriales, en particular la producción de ferrocromo, refinado de mineral, procesamiento de sustancias químicas, refractarios y combustión de carburantes fósiles. Las plantas productoras de cemento son otra fuente potencial importante de cromo en la atmósfera. El cromo se precipita y se deposita en la tierra y el agua: la precipitación en la tierra a la postre es transportada hacia el agua y se deposita en los sedimentos (Klaassen y Watkins, 2001).

#### **Criterios de calidad del agua (USEPA):**

Salud humana

Criterio: 50  $\mu\text{g/litro}$





## MERCURIO

La contaminación del agua por mercurio es producido por industrias químicas que producen cloro, fábricas de fungicidas y de pinturas contra hongos, fábricas de plásticos, por minas de cinabrio (sulfuro de mercurio, HgS), en la extracción de oro y de plata por el método de amalgamación y por las refinerías del petróleo, (Tabla 3.2). Se considera que la mitad del mercurio extraído es arrojado al medio ambiente, una parte en forma de vapor a la atmósfera y otra en los desechos industriales al suelo y al agua. Estos desechos contienen mercurio y siguen el curso del agua hasta llegar a los lagos, ríos y hasta el mar, donde pueden incorporarse a las diferentes cadenas alimenticias, reaccionar y transformarse en metilmercurio (Lomelí y Tamayo, 2001).

*Principales riesgos de intoxicación por mercurio (Mapfre, 1999).*

- **Mercurio elemental**

Odontología, batería, barómetros, instrumentos de calibración, cáusticos, cerámicas, amplificadores de sonido, electrónica, electricidad, joyería, fluorescentes, pinturas, amalgamas, aleaciones, fotografía, termómetros.

- **Mercuriales inorgánicos**

Desinfectantes, pinturas, explosivos, incendios, tintas, química, espermicidas, conservadores de la madera, producción de cloruro de vinilo, fotografía, lámparas de vapor, perfumería, cosmética.

- **Mercuriales orgánicos**

Bactericidas, manufactura del papel, granjas, antisépticos, fungicidas, insecticidas, conservación de la madera, lienzos, lavandería.

La principal vía de absorción del mercurio elemental es la respiratoria, por inhalación de vapores o polvo mercurial. El mercurio elemental no es muy tóxico como



un veneno agudo. Sin embargo, la inhalación de altas concentraciones de vapor de mercurio puede causar pneumonitis, bronquitis, dolores de torax, disnea, tos, gingivitis, salivación y diarrea. Se producen además dolores musculares, transtornos visuales y auditivos, y confusión mental. De lo inhalado solo una pequeña fracción se exhala debido a la rápida penetración del vapor mercurial y su paso inmediato a la circulación sanguínea (Mapfre, 1999).

Los riñones contienen las concentraciones más grandes de mercurio después de exposición a sales inorgánicas y vapor de dicho elemento, en tanto el mercurio orgánico tiene mayor afinidad por el cerebro. La exposición crónica al vapor de mercurio causa efectos en el sistema nervioso central, con una exposición cada vez mayor, los síntomas se hacen más característicos, empiezan con temblores intencionales de los musculos, dedos de las manos, parpados y labios, y pueden progresar hacia temblor generalizado de todo el cuerpo y espasmos crónicos violentos de las extremidades. Esto se acompaña de cambios de la personalidad y de la conducta, con pérdida de memoria, depresión grave, incluso delirio y alucinaciones. Otro dato característico de la toxicidad por mercurio es la salivación y gingivitis intensa (Klaassen y Watkins, 2001).

El monometilmercurio causa daño en el cerebro y en el sistema nervioso central, a los cambios del desarrollo en niños y en el hombre los compuestos de mercurio provocan alteraciones en la mucosa intestinal e inhibición de ciertas enzimas, también se considera que puede producir alteraciones genéticas, lesiones renales y del sistema nervioso central y hasta la muerte. (Mapfre, 1999).

#### **Criterios de calidad del agua (USEPA):**

Salud humana

Criterio: 144 ng/litro



## NIQUEL

La exposición ocupacional a los compuestos de níquel se ha asociado a un exceso de cáncer en el pulmón y en la cavidad nasal, Adicionalmente, la exposición por inhalación de sulfuro y carbonilo de níquel ha demostrado que causa cáncer y efectos carcinogénicos en animales. Varios compuestos de níquel son mutagénicos y pueden causar sensibilización a la dermatitis. (Arcos, et. al. 1994).

La mayor parte del níquel comercial se emplea en el acero inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión. El níquel finamente dividido se emplea como catalizador de hidrogenación. El níquel elemental se usa en el enchapado eléctrico, en el aluminio anodinado, en las operaciones de moldeo para partes de maquinaria y en la fabricación de monedas; se utiliza también en la manufactura de aleaciones resistentes a los ácidos y magnéticas, cintas magnéticas, instrumentos quirúrgicos y dentales, baterías de níquel y cadmio, jabones de níquel, cajas de transmisión, esmaltes de revestimiento, cerámica coloreada y vidrio. Se usa como catalizador en la hidrogenación de grasas, aceites y otras sustancias químicas en la producción de aceite sintético de carbón. La exposición al níquel puede también producirse durante las operaciones de extracción minera, fundición y refinación (Lenntech, 1998); (Arcos, et. al. 1994).

El níquel es liberado al aire por las plantas de energía y las incineradoras de basuras. Este se depositará en el suelo o caerá después de reaccionar con las gotas de lluvia. Usualmente lleva un largo periodo de tiempo para que el níquel sea eliminado del aire. (Lenntech, 1998).

El níquel es un elemento que se presenta en el ambiente sólo en muy bajos niveles. Los humanos usan el níquel para muchas aplicaciones diferentes. La aplicación más común del níquel es el uso como ingrediente del acero y otros productos metálicos. Este puede ser encontrado en productos metálicos comunes como es la joyería (Lenntech, 1998).



### **Efectos del níquel para la salud**

Es un carcinógeno para las vías respiratorias en trabajadores de la industria del refinamiento del níquel. La dermatitis por contacto de origen alérgico es frecuente en la población general. Una deficiencia del níquel altera el metabolismo de glucosa y disminuye la tolerancia a esta última. Se ha demostrado durante 40 años que la exposición ocupacional a níquel predispone a los seres humanos a cánceres pulmonar y nasal (Klaassen y Watkins, 2001).

Los alimentos naturalmente contienen pequeñas cantidades de níquel. El chocolate y las grasas son conocidos por contener altas cantidades. El níquel es tomado y este aumentará cuando la gente come grandes cantidades de vegetales procedentes de suelos contaminados. Es conocido que las plantas acumulan níquel y como resultado la toma de níquel de los vegetales será eminente. Los fumadores tienen un alto grado de exposición al níquel a través de sus pulmones. Finalmente, el níquel puede ser encontrado en detergentes. Los humanos pueden ser expuestos al níquel al respirar el aire, beber agua, comer o fumar cigarrillos. El contacto de la piel con suelo contaminado por níquel o agua puede también resultar en la exposición al níquel. En pequeñas cantidades el níquel es esencial, pero cuando es tomado en muy altas cantidades éste puede ser peligroso para la salud humana (Lenntech, 1998).

- La toma de altas cantidades de níquel tienen las siguientes consecuencias:
- Elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata.
- Enfermedades y mareos después de la exposición al gas de níquel.
- Embolia de pulmón.
- Fallos respiratorios.
- Defectos de nacimiento.
- Asma y bronquitis crónica.
- Reacciones alérgicas como son erupciones cutáneas, mayormente de las joyas.
- Desordenes del corazón.



### **Criterios de calidad del agua (USEPA):**

Salud humana: Criterio: 13.4 µg/litro

## **PLOMO**

El plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también se utiliza como ingrediente en soldaduras, como carga en la industria automotriz y como material protector para rayos X y radiación atómica. Se emplea además en la manufactura del plomo tetraetilo y de compuestos orgánicos e inorgánicos del plomo, en pigmentos para pinturas y barnices, acumuladores, vidrios plomados, esmaltes vidriosos, como lustrante en la cerámica, plásticos, artefactos electrónicos y pesticidas (Lenntech, 1998); (Arcos, et. al. 1994).

El plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas. Debido a la aplicación del plomo en gasolinas existe un ciclo no natural del plomo. En los motores de los coches el plomo es quemado, generando sales de plomo (cloruros, bromuros, óxidos), éstas sales de plomo entran en el ambiente a través de los tubos de escape de los coches, las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. Este ciclo del plomo causado por la producción humana está mucho más extendido que el ciclo natural del plomo (Lenntech, 1998).

Algunas industrias que fabrican baterías, cerámica, fósforos, lubricantes, perlas artificiales, vidrio, pintura e insecticidas producen compuestos de plomo que son solubles en agua. Sin embargo el plomo metálico y los minerales de plomo comunes son insolubles en agua. (Arcos, et. al. 1994).



Las principales fuentes de contaminación por plomo, varían según la región; así en las grandes ciudades las fuentes a combatir son las gasolinas y la cerámica vidriada. En las áreas rurales, la principal fuente es la contaminación de los alimentos por el uso del barro vidriado, en tanto que alrededor de las áreas industriales, el aire, el agua y el suelo son los medios para el transporte de plomo. Si bien el uso de gasolina sin plomo ha comenzado a influir en el abatimiento de los niveles de plomo en la sangre de los niños, se debe continuar por medio del control de otras fuentes el esfuerzo para combatir a este contaminante (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999).

El uso más amplio del plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de acumuladores. Otras aplicaciones importantes son la fabricación de tetraetilplomo, forros para cables, elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave y municiones (Lenntech, 1998).

### ***Efectos del plomo sobre la salud***

El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%). Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de plomo. El humo de los cigarrillos también contiene pequeñas cantidades de plomo (Lenntech, 1998).

En el hombre provoca saturnismo, enfermedad que engloba trastornos nerviosos, digestivos y renales, también es causante de anemia en humanos y anormalidades en el metabolismo (Estrucplan, 2007).

En la exposición de los seres humanos al plomo pueden dar lugar a una amplia gama de efectos biológicos dependiendo el nivel y duración de la exposición. Los diferentes efectos ocurren sobre una amplia gama de dosis. Los altos niveles de la exposición pueden dar lugar a efectos bioquímicos tóxicos en los seres humanos que alternadamente causan problemas en la síntesis de la hemoglobina (Tabla A1), de



efectos sobre los riñones, del aparato gastrointestinal, del sistema reproductivo y daños agudos o crónicos al sistema nervioso (Lenntech, 1998).

**Tabla A1.** Valores sanguíneos y efectos del plomo en niños.

Plomo en sangre ( $\mu\text{g/dL}$ )	Efecto
10	Disminución auditiva
	Disminución del crecimiento
	Disminución del coeficiente intelectual
15	Baja en los niveles de vitamina D
20	Conducción nerviosa periférica disminuida

Fuente: (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999)

Los compuestos de plomo han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos. Sin embargo, en la actualidad el envenenamiento por plomo es raro en virtud en la aplicación industrial de controles modernos, tanto de higiene como relacionados con la ingeniería. El mayor peligro proviene de la inhalación de vapor o de polvo. Algunos de los síntomas de envenenamiento por plomo son dolores de cabeza, vértigo e insomnio. En los casos agudos progresa hasta el coma y termina en la muerte. El control médico de los empleados que se encuentren relacionados con el uso de plomo comprende pruebas clínicas de los niveles de este elemento en la sangre y en la orina. Con un control de este tipo y la aplicación apropiada de control de ingeniería, el envenenamiento industrial causado por el plomo puede evitarse por completo (Lenntech, 1998).

El plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías, en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que contienen plomo. El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua (Lenntech, 1998).

- El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son:
- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia



- Incremento de la presión sanguínea
- Daño a los riñones
- Abortos y abortos sutiles
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños
- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

### Criterios de calidad del agua (USEPA):

Salud humana:

Criterio: 50 µg/litro

El problema esencial que plantean los metales pesados es el de que muchos de ellos se han utilizado durante siglos y son fundamentales para la industria (Tabla A2), pero pueden perjudicar la salud humana y transformar el equilibrio de los sistemas ambientales si se permite que alcancen concentraciones excesivas en el agua, suelo y aire (Estrucplan, 2007).

**Tabla A2.** Concentraciones de metales pesados provenientes de la industria(µg/L).

Industria /Sistema	Al	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Fe	Ni	Pb	Zn
Textil	---	---	---	300	300	---	5600	---	---	100
Curtidora	---	---	---	260-780	---	---	---	---	---	---
Vitivinícola	---	---	---	---	---	---	1700-9500	---	---	---
Metal Mecánica	---	---	---	280	600	---	1500	---	120	---
Galvanoplastia	1750	---	4	73000	6400	---	12500	74	220	1260
Polímeros sintéticos	30	---	20	40	---	89	---	---	16	---
Petroquímica	---	---	---	120	70	157	---	---	---	---
Hulera	167	---	2	---	21	---	---	---	9	161

Fuente: (Cervantes y Moreno-Sánchez, 1999)





El envenenamiento por los metales pesados podría resultar, por ejemplo, de la contaminación del agua potable (ej. tuberías de plomo), las altas concentraciones en el aire cerca de fuentes de la emisión, o producto vía la cadena alimentaria (Lenntech, 1998).

Los metales pesados normalmente aparecen en el agua superficial procedentes de las actividades comerciales e industriales y se tienen que eliminar si el agua residual se va a reutilizar. (Lenntech, 1998).

Es importante puntualizar que la mayor parte de la información toxicológica acerca de los metales pesados se ha obtenido a partir de estudios que han utilizado un solo metal, cuando en realidad los seres vivos están expuestos a mezclas de ellos.

Debido a la toxicidad de algunos metales se han establecido estándares nacionales e internacionales para los niveles de metales en el agua potable. Los metales liberados por algunos procesos industriales a menudo exceden con mucho los niveles establecidos para el agua potable, (Tabla A3), pero estos residuos suelen estar altamente diluidos cuando se vierten a las vías fluviales o a los sistemas de alcantarillado (Scragg, 1999).



**Tabla A3.** Niveles de contaminación por metales de origen doméstico e industrial. Valores en mg/l.

<i>Metal</i>	<i>Estándar para agua potable</i>	<i>Residuo doméstico</i>	<i>Residuos Industriales</i>			
			<i>Alimentarios</i>	<i>Carnes</i>	<i>Galvanizados</i>	<i>Textiles</i>
Cadmio	0.005	0.01	0.006	0.01	1	0.03
Cloro	0.05	0.08	0.150	0.15	11	0.80
Plomo	0.05	0.10	0	0	0	0
Cobre	1.0	0.17	0.29	0.09	6	0.03
Zinc	5.0	0.29	1.08	0.43	9	0.47

Fuente: (Scragg, 1999)