



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN EL
LAGO DEL PARQUE ECOLÓGICO ALAMEDA
ORIENTE D.F. MÉXICO**

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:

OMAR VELAZQUEZ ASCENCIO

MÉXICO, D.F.

AÑO: 2011





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Jesús González Pérez.**

VOCAL: **Profesor: Víctor Manuel Luna Pabello.**

SECRETARIO: **Profesor: Georgina Fernández Villagómez.**

1er. SUPLENTE: **Profesor: Modesto Javier Cruz Gómez.**

2° SUPLENTE: **Profesor: Alfonso Durán Moreno.**

**ESTA TESIS SE DESARROLLO EN EL PARQUE ECOLÓGICO ALAMEDA ORIENTE, D.F.
MÉXICO Y EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.**

Doctora. Georgina Fernández Villagómez

Asesor

Omar Velázquez Ascencio

Sustentante



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme brindado la oportunidad de superarme académica pero sobre todo personalmente.

A la Facultad de Química, no solo por la formación académica sino por haberme dado la oportunidad de realizar mi sueño.

Al Parque Ecológico Alameda Oriente, D.F., por las facilidades prestadas y utilización de su lago.

Al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, por la oportunidad de desarrollar esta tesis.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Departamento de Físico Química Marina, Área de Metales, por las facilidades otorgadas en el análisis de las muestras.

A la Dra. Georgina Fernández Villagómez, por su apoyo, dirección, dedicación, paciencia y consejos para la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez, por su ayuda en el análisis y utilización de su equipo de espectrofotometría de absorción atómica. †

Al Dr. Víctor Manuel Luna Pabello, porque gracias a sus observaciones pude concluir y corregir esta tesis.

“por mi raza hablara el espíritu”



DEDICATORIAS

Antes que a todos quiero dedicar esta tesis a Dios por darme las fuerzas necesarias en los momentos en que más las necesité y bendecirme con la posibilidad de caminar a su lado durante toda mi vida.

A mi esposa Azucena Reyes Díaz, simplemente por ser como eres. Con todas tu manías y defectos, con todas tus virtudes y bellezas. Gracias por inspirar mi poesía, caminar a mi lado durante todo este tiempo y mostrarme con una sonrisa, que el amor en verdad existe, pero sobre todo por ese pequeño que me has dado. “Mil Gracias Amor”.

A mi familia (Emnillita, Héctor y Oscar Velázquez), quienes me han acompañado en silencio en cada una de las locuras que he emprendido con una comprensión a prueba de todo y estar siempre ahí.

A mi padre Alberto Velázquez, por todo lo que me ha dado en esta vida, especialmente por sus sabios consejos y por estar a mi lado en los momentos difíciles.

A mi suegra Merced Díaz, por amarme como un hijo y brindarme todo su cariño.

A mi tía Adelfa Sánchez y primas, por apoyarme, aconsejarme y preocuparse por mí siempre.

A mis sobrinos Digo Giovanni y Carlitos por contagiarme la alegría de vivir.

A mis amigos y carnalitos del alma: Vic, Puchis, Cesar, Mitchell, Pocabruja, Nan, Choco, Rojo, Rey, Chino, Mimoso, Shagy, Chuleton, Valter, Pelitos, Polito, Ramatrix, Nacho, Clon, Clau, Tany, Rex, Pollo, Maldad y Sandra (la cosita), quienes se convirtieron en mi familia adoptiva desde el CCH hasta la Universidad y por ayudarme en cada momento y hacerme sentir como en casa cuando lo necesité.

En memoria:

A mi “Mamita” Soledad Ascencio Doroteo † quien con su paciencia y enseñanzas me ayudado a encontrar la luz cuando todo es oscuridad. Siempre te llevo en mi corazón.



ÍNDICE

	Página
Lista de Figuras.....	1
Lista de Tablas.....	5
Capítulo 1.	
Resumen.....	6
Introducción.....	7
Justificación.....	9
Objetivos.....	11
Capítulo 2. Antecedentes	
2.1 Lagos Artificiales.....	12
2.2 Metales.....	15
2.2.1 Contaminación del agua por metales.....	15
2.2.2 Toxicidad de los metales pesados y su efecto en especies acuáticas.....	20
2.2.3 Arsénico.....	22
2.2.4 Cadmio.....	25
2.2.5 Cobre.....	26
2.2.6 Cromo.....	27
2.2.7 Mercurio.....	30
2.2.8 Níquel.....	33
2.2.9 Plomo.....	34
2.2.10 Zinc.....	36

**Capítulo 3. Área de Estudio**

3.1	Parque Alameda Oriente.....	37
3.1.1	Ubicación.....	39
3.1.2	Descripción zonal del Parque Ecológico Alameda Oriente, D.F; México.....	39
3.2	Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente.....	42
3.2.1	Factores que afectan el volumen del lago.....	50
3.2.1.1	Precipitación.....	50
3.2.1.2	Evaporación.....	50
3.2.1.3	Extracción para riego.....	50
3.2.1.4	Filtración.....	50
3.2.2	Factores que afectan la estructura del lago.....	51
3.2.2.1	Hundimiento regional y deformación de estructura.....	51
3.2.2.2	Análisis Meteorológico.....	52
3.2.2.3	Calidad del agua suministrada.....	52
3.2.3	Características del lago artificial.....	52
3.2.3.1	Impermeabilización del talud mojado con un material plástico impermeable.....	52
3.2.3.2	Impermeabilización con pantalla impermeable sobre el bordo.....	53
3.2.3.3	Sobre elevación de los bordos de hasta 2232.80 msnm.....	54
3.2.3.4	Impermeabilización natural.....	55



3.2.4 Especies habitantes en el lago.....56

Capitulo 4. Metodología

4.1 Trabajo de Campo.....57

 4.1.1 Toma de Muestras.....57

 4.1.2 Leyes Ambientales.....58

 4.1.3 NOM.....58

 4.1.4 NMX.....58

 4.1.5 USEPA.....59

4.2 Trabajo de Laboratorio.....62

 4.2.1 Material.....62

 4.2.2 Limpieza del material.....63

 4.2.3 Metodología.....63

 4.2.3.1 Preparación de la muestra para la determinación de metales pesados por digestión en aguas naturales, potables y residuales.....63

 4.2.3.2 Generador de hidruros.....66

 4.2.3.3 Horno de grafito.....67

4.3 Trabajo de gabinete.....69

 4.3.1 Antecedentes del paquete Surfer 8.....69



Capítulo 5. Resultados y su Evaluación

5.1 Resultados.....	71
5.2 Evaluación de los resultados.....	96
5.3 Análisis para cada metal pesado.....	97
5.4 Aplicación del Surfer 8.....	99

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones.....	108
6.2 Recomendaciones.....	109

Referencias.....	111
-------------------------	------------



LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** Parque Ecológico Alameda Oriente
- Figura 3.2** Explanada principal del Parque Alameda Oriente
- Figura 3.3** Áreas verdes de la AO
- Figura 3.4** Representación de la zona 3
- Figura 3.5** Presentación de la zona 4
- Figura 3.6** Corredores del parque AO
- Figura 3.7** Canchas de futbol y pistas de atletismo
- Figura 3.8** Cactáreo del parque Alameda Oriente
- Figura 3.9** Canchas de Basquetbol
- Figura 3.10** Lago y áreas verdes
- Figura 3.11** Impermeabilización del talud
- Figura 3.12** Impermeabilización con pantalla
- Figura 3.13** Sobreelevación y taludes perimetrales
- Figura 3.14** Impermeabilización con pantalla
- Figura 3.15** Aves que habitan el lago del parque Alameda Oriente
- Figura 4.1** Vista panorámica del sitio de estudio
- Figura 4.2** Lavado de l contenedores para las muestras
- Figura 4.3** Determinación de pH
- Figura 4.4** Determinación de Oxígeno disuelto
- Figura 4.5** Medición de temperatura del cuerpo de agua
- Figura 4.6** Medición de Sólidos totales



Figura 4.7 Toma de coordenadas

Figura 4.8 Agregado del Ácido Nítrico

Figura 4.9 Contenedores para los vasos de teflón

Figura 4.10 Digestor u Horno de microondas (Mars 5)

Figura 4.11 Espectrofotómetro (Perkin-Elmer 2380) con aditamento de generador de hidruros

Figura 4.12 Espectrofotómetro (Perkin-Elmer Analyst 700) con aditamento de horno de grafito

Figura 5.1 Concentraciones de arsénico en la esclusa I

Figura 5.2 Concentraciones de cadmio en la esclusa I

Figura 5.3 Concentraciones de cromo en la esclusa I

Figura 5.4 Concentraciones de cobre en la esclusa I

Figura 5.5 Concentraciones de mercurio en la esclusa I

Figura 5.6 Concentraciones de níquel en la esclusa I

Figura 5.7 Concentraciones de plomo en la esclusa I

Figura 5.8 Concentraciones de zinc en la esclusa I

Figura 5.9 Concentraciones de arsénico en la esclusa II

Figura 5.10 Concentraciones de cadmio en la esclusa II

Figura 5.11 Concentraciones de cromo en la esclusa II

Figura 5.12 Concentraciones de cobre en la esclusa II

Figura 5.13 Concentraciones de mercurio en la esclusa II

Figura 5.14 Concentraciones de níquel en la esclusa II



Figura 5.15 Concentraciones de plomo en la esclusa II

Figura 5.16 Concentraciones de zinc en la esclusa II

Figura 5.17 Concentraciones de arsénico en la esclusa III

Figura 5.18 Concentraciones de cadmio en la esclusa III

Figura 5.19 Concentraciones de cromo en la esclusa III

Figura 5.20 Concentraciones de cobre en la esclusa III

Figura 5.21 Concentraciones de mercurio en la esclusa III

Figura 5.22 Concentraciones de níquel en la esclusa III

Figura 5.23 Concentraciones de plomo en la esclusa III

Figura 5.24 Concentraciones de zinc en la esclusa III

Figura 5.25 Concentraciones de arsénico en la esclusa IV

Figura 5.26 Concentraciones de cadmio en la esclusa IV

Figura 5.27 Concentraciones de cromo en la esclusa IV

Figura 5.28 Concentraciones de cobre en la esclusa IV

Figura 5.29 Concentraciones de mercurio en la esclusa IV

Figura 5.30 Concentraciones de níquel en la esclusa IV

Figura 5.31 Concentraciones de plomo en la esclusa IV

Figura 5.32 Concentraciones de zinc en la esclusa IV

Figura 5.33 Concentraciones de arsénico en la esclusa V

Figura 5.34 Concentraciones de cadmio en la esclusa V

Figura 5.35 Concentraciones de cromo en la esclusa V

Figura 5.36 Concentraciones de cobre en la esclusa V



Figura 5.37 Concentraciones de mercurio en la esclusa V

Figura 5.38 Concentraciones de níquel en la esclusa V

Figura 5.39 Concentraciones de plomo en la esclusa V

Figura 5.40 Concentraciones de zinc en la esclusa V

Figura 5.41 Distribución de concentraciones de arsénico en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente

Figura 5.42 Distribución de concentraciones de cadmio en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente

Figura 5.43 Distribución de concentraciones de cromo en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente

Figura 5.44 Distribución de concentraciones de cobre en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente

Figura 5.45 Distribución de concentraciones de mercurio en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente

Figura 5.46 Distribución de concentraciones de níquel en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente

Figura 5.47 Distribución de concentraciones de plomo en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente

Figura 5.48 Distribución de concentraciones de zinc en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Efectos de los principales metales contaminantes del agua

Tabla 2.2 Criterios en calidad del agua (USEPA) para el arsénico

Tabla 2.3 Criterios en calidad del agua (USEPA) para el cadmio

Tabla 2.4 Criterios en calidad del agua (USEPA) para el cromo

Tabla 2.5 Criterios en calidad del agua (USEPA) para el mercurio

Tabla 2.6 Criterios en calidad del agua (USEPA) para el níquel

Tabla 3.1 Especies forestales existentes dentro del Parque Ecológico Alameda Oriente

Tabla 3.2 Especies de setos existentes dentro del Parque Ecológico Alameda Oriente

Tabla 3.3 Distribución de la superficie total del Lago de Alameda Oriente

Tabla 3.4 Características generales de los lagos oligotróficos y eutróficos

Tabla 5.1 Concentración de metales pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, D.F., Esclusa I

Tabla 5.2 Concentración de metales pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, D.F., Esclusa II

Tabla 5.3 Concentración de metales pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, D.F., Esclusa III

Tabla 5.4 Concentración de metales pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, D.F., Esclusa IV

Tabla 5.5 Concentración de metales pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, D.F., Esclusa V

Tabla 5.6 Límites Máximos Permisibles para metales pesados



RESUMEN

Esta tesis se basa en el estudio y la determinación de metales pesados presentes en distintos puntos del lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F. Los metales que se determinaron son el arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc.

Como se trata de un lago de uso recreativo y de reserva ecológica lo que interesa es determinar los metales pesados que son aportados por la gente que lo visita y en dado caso por las fuentes que lo alimentan como son: la planta de tratamiento de agua Tlacos y el lago del Bosque de San Juan de Aragón de los cuales el lago se llena, además de conocer los problemas toxicológicos que puede presentar cada metal principalmente para las especies existentes en el lago.

Este estudio consistió en tres partes fundamentalmente, trabajo de campo, trabajo de laboratorio y trabajo de simulación. En el trabajo de campo se hizo la recolección de las muestras de agua y se midieron diferentes parámetros como temperatura, pH y ubicación de cada punto vía satélite (GPS), siguiendo las especificaciones que indica la norma NMX-AA-051-SCFI-2001.

En el laboratorio se analizó las muestras de agua recolectadas mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) donde se verificó la existencia de metales pesados en el lago y su concentración. Los resultados se compararon con los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para confirmar que el lago del parque ecológico Alameda Oriente sí tiene problemas de contaminación por metales pesados. Encontrando que los metales que presentan mayor concentración fueron el arsénico, níquel, cobre y cromo siento estos un peligro de intoxicación para las especies existentes del lago.

Para el trabajo de simulación se utilizó 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 analizados.



INTRODUCCIÓN

Los metales son materias naturales que han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. Pueden encontrarse en mayores cantidades en los extractos profundos de los ríos y en menor proporción en la superficie, los mantos acuíferos no contaminados pueden contener cantidades muy pequeñas (Vega y Reynaga; 2007).

Uno de los mecanismos mediante el cual los metales llegan al ser humano se debe a que las plantas absorben el metal a través de la raíz y a su vez las especies animales lo hacen al alimentarse de aquellas (Lomelí y Tamayo; 2006).

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación (Vega y Reynaga; 2007).

La actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el ambiente en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas (Lenntech; 2006).

Se entiende como metales pesados aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Los más importantes son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn). Estos elementos químicos poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 como el Cobre (Cu) y 200.59 como el Mercurio (Hg) (Lenntech; 2006).

Dentro de los metales pesados existen dos grupos:

- Micronutrientes que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral estos metales se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn (Vega y Reynaga; 2007).



- Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva altas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Dentro de este grupo se encuentran principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi. Estos son los metales tóxicos cuya concentración en el ambiente puede causar daños en la salud de las personas (Vega y Reynaga; 2007).

Los términos metales pesados y metales tóxicos se usan como sinónimos pero sólo algunos de ellos pertenecen a ambos grupos. La toxicidad de estos metales se debe a su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero la reactividad de cada metal es diferente y consecuentemente lo es su acción tóxica. Usualmente las moléculas suelen tener dentro de su estructura grupos sulfidrilos los cuales se combinan con facilidad con los metales pesados produciendo inhibición de las actividades enzimáticas del organismo (Simón; 2008).

La presente tesis está enfocada en el estudio de la determinación de la concentración final de los metales pesados en el lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, ya que es un sitio lacustre de profundo interés ambiental, económico y social, debido a las actividades que se desarrollan en este y sus alrededores.



JUSTIFICACIÓN

Hoy en día el medio ambiente es primordial para que los seres vivos, entre los que se encuentra el humano, tengan una mejor calidad de vida. Con base en la misión que tiene la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de sus Facultades y Centros de Investigación, es necesario realizar planes de trabajo para la recuperación de los pulmones de la Ciudad.

El estudio que se realizó al lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F., es de suma importancia para la preservación de su flora y fauna; dicho estudio consiste en la determinación de metales pesados en ciertos puntos superficiales de lago, los cuales son una fuente de contaminación para el agua y consecuentemente a las plantas y animales existentes.

La posible aparición de metales pesados en el lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, se debe a su periódico llenado con agua residual tratada, la cual proviene de la planta de tratamiento de Tlacos pasando por el lago del Bosque de San Juan de Aragón el cual es utilizado como lago de uso recreativo y existiendo algunas aportaciones de metales por los visitantes de dicho lago.

Los metales pesados son tóxicos a la salud y al ambiente en altas concentraciones, por esta razón se realizará los análisis correspondientes en el lago para verificar si existen metales pesados y de existir, determinar en qué concentraciones se encuentran.

Los metales analizados por el método analítico de espectrofotometría de absorción atómica (EAA), son: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc ya que éstos son de los más comunes, abundantes en el agua y el ambiente y con una alta toxicidad para las especies acuáticas de los lagos artificiales como son: peces y aves, lo que indica que el estudio de la presencia de estos metales en el lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F., es de gran importancia para disminuir su contaminación.

Entre los metales pesados más peligrosos que se encuentran se tienen: el mercurio, el cromo y el plomo, ya que por sus propiedades físico químicas causan daños irreversibles en dichas especies.



No existen antecedentes de que se haya realizado un estudio de la presencia metales pesados en el lago del Parque Ecológico Alameda Oriente 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.



OBJETIVOS

Objetivo General.

- Determinar la concentración de metales pesados en el lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F., utilizando el método analítico de espectrofotometría de absorción atómica (EAA), propuesto por la norma en materia de calidad del agua.

Objetivos Específicos.

- Identificar la posible existencia de una problemática ambiental en el lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, evaluando las actividades recreativas que provee a los visitantes.
- Determinar la concentración de los metales pesados; arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc, utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) en el laboratorio y la ubicación de puntos clave en el lago.
- Mostrara a través de mapas de distribución, la concentración de los metales pesados, aplicando un software comercial.

Alcances y limitaciones.

- Se generarán alternativas de solución a las condiciones fisicoquímicas que existen en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F., fundamentándolas en la concentración de metales pesados, encaso de que existan concentraciones fuera de norma.
- La toma de muestras serán puntuales en superficie, de esta forma se espera que se muestre las circunstancias particulares del cuerpo de agua para el momento y sitio de su recolección.
- Se tomaran 65 muestras en puntos críticos. Esto por la distribución y tamaño del lago.



ANTECEDENTES

2.1 LAGOS ARTIFICIALES.

El desarrollo histórico de la humanidad, en especial de las grandes civilizaciones, ha guardado estrecha dependencia con los sistemas acuáticos denominados humedales. La cultura azteca, por ejemplo, floreció bajo un manejo adecuado del lago de la Cuenca del Valle de México, y los mayas por su parte utilizaron los cenotes (SEMARNAT, 2005).

Los humedales son ecosistemas caracterizados por ser superficies inundadas y cubiertas por agua dulce, salobre o salada. Los humedales pueden estar permanentemente inundados o únicamente cubrirse con agua durante ciertas temporadas. Esta definición de humedal da cabida a una gran cantidad de ambientes entre los cuales destacan las lagunas costeras, los manglares, los estuarios, pantanos e inclusive arrecifes (de la Lanza y Dipotet, 2007).

Existen también humedales producto de la intervención humana, tales como presas, lagos artificiales, canales y estanques para acuicultura (CONABIO, 2000).

Los lagos se clasifican como oligotróficos y eutróficos. Los primeros que generalmente tienen su origen a partir de los glaciares, presentan baja productividad, gran profundidad y alta concentración de oxígeno en sus capas inferiores. Por su parte los lagos eutróficos son más productivos, ricos en flora y fauna, con bajas concentraciones de oxígeno en sus capas profundas (CONABIO, 2000).

El lago artificial más importante de la zona Oriente de la Ciudad de México es el Nabor Carrillo, el cual mide 1000 ha, con un diámetro de 12 km y una capacidad de 36 millones de m³. Le sigue en extensión el Lago de Regulación horaria ubicado en el Estado de México, con una capacidad de 4.5 millones de m³. Por otro lado, la laguna de Xalapango está destinada a acaparar el agua de lluvia que baja de la zona alta, teniendo una extensión de 240 ha y una capacidad de 3.6 millones de m³ (Álvarez y Durán, 2005).

Por su parte, el lago Churubusco cuenta con una extensión de 270 ha. y es utilizado sólo como vaso de almacenamiento de las obras de toma. El Lago del Bosque de San Juan de Aragón, tiene una extensión de 11.88 ha, y se utiliza actualmente para actividades



recreativas; y finalmente el lago del Parque Alameda Oriente D.F, que cuenta con una extensión de 11.77 ha, el cual es utilizado como lago recreativo y a su vez de reserva ecológica de la zona Oriente de la ciudad (Álvarez y Durán, 2005).

2.2 METALES.

2.2.1 *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, 2007).

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 (Albert, 2007).

En la Tabla 2.1 Se presentan los efectos principales, de los metales en agua.

**Tabla 2.1 Efectos de los principales metales contaminantes del agua.**

<i>Residuos Inorgánicos</i>	<i>Efectos</i>
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, 2009)

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, 2006).

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicos 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, 2006).

A diferencia de los herbicidas, plaguicidas y otros compuestos tóxicos que se degradan biológicamente, los metales pesados no pueden ser eliminados y permanecen en los suelos o sedimentos, de donde se liberan lentamente al agua (Cervantes y Moreno-Sánchez, 2003).

La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua (Lomelí y Tamayo, 2006).



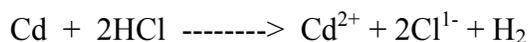
El plomo elemental se disuelve bajo condiciones ácidas debido a su oxidación por el oxígeno. Es más, algunos compuestos como carbonato e hidroxicarbonato de plomo, es decir, PbCO_3 y $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, que recubren las tuberías, se disuelven en condiciones ácidas, como se muestra en el siguiente balance (Harrison, 2006).



Se ha encontrado que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio son metilados (forman 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 alcanzan concentraciones lo suficientemente altas para ser venenosos (Lomelí y Tamayo, 2006).

En el agua, el mercurio se encuentra principalmente en forma inorgánica, la cual pasa a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos. Estos, pasan 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 se evapora y entra al aire, y otra pasa a los suelos, si el agua contaminada es utilizada para el riego (Albert, 2007).

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, esta reacción se presenta mediante la ecuación química:



Para comprobar el comportamiento de los metales pesados en lagos de aguas dulces se investiga los siguientes aspectos (Harrison, 2006):

- Distintos sistemas con estados diferentes.
- 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, zinc, cobre y cadmio son 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, 2006).

La contaminación por metales pesados también 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, 2003).

En animales acuáticos, el proceso de captación de metales pesados se efectúa mediante tres procesos principales (Cervantes y Moreno-Sánchez, 2003):

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, 2003).



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 establecido las bases para aplicar la biotecnología ambiental y los procesos denominados de biorremediación o biorremoción (Cervantes y Moreno-Sánchez, 2003).

El término biorremoción se define como la acumulación y concentración de contaminantes mediante el uso de materiales biológicos, preferentemente microorganismos, que son capaces de secuestrar a los iones metálicos, a través de 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, 2003).

2.2.2 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 venenosas, no hay ninguna que no tenga un efecto tóxico y es la dosis lo que la convierte en tal (Lenntech, 2006).

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 son degradados o destruidos (Lenntech, 2006).

Algunos metales pesados (cobre, selenio, zinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas conducen al envenenamiento (Lenntech, 2006).

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 (Cervantes y Moreno-Sánchez, 2003):

- 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.

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 acumulan en las plantas, los animales y los microorganismos. Los metales no son 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, 2009).

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 se encuentran 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 controlada predominantemente por el pH, por el tipo de concentración de los ligandos en los cuales el metal puede absorberse (Lenntech, 2006).

Los metales pesados no esenciales de interés particular para los sistemas acuíferos superficiales son cadmio, cromo, mercurio, plomo, arsénico y antimonio (Del-Rio y Luna, 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, 2003).

2.2.3 *Arsénico (As)*

El arsénico se presenta en pequeñas cantidades de manera natural en todos los ecosistemas. Puede encontrarse como arsenato (AsO_4^{3-} , As^{5+}) o arsenito (AsO_2^{1-} , As^{3+}); como materia de desecho y es liberado al ambiente por la actividad volcánica y la erosión de depósitos minerales, es decir, como resultado de la actividad bioquímica. 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 (Albert, 2007).

Es 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 son trivalentes o pentavalentes, como el ácido arsánico 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, 2003).

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 se han encontrado. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades (Lenntech, 2006).

Los niveles de arsénico en peces son 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 son un peligro para sus depredadores. La toxicidad crítica en animales de agua dulce sucede a niveles del orden de 812 µg/L y a niveles tan bajos como 40 µg/L para las primeras etapas de la vida de los organismos acuáticos (Arcos *et al*, 1994).

Efectos ambientales del arsénico

El arsénico es encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y entra 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 específicamente un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico (Lenntech, 2006).



La absorción del 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 menor al 4% (Albert, 2007).

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, 2006).

En la tabla 2.2 se presentan los criterios de calidad del agua (USEPA), para el Arsénico.

Tabla 2.2 Criterios en calidad del agua (USEPA)

<i>Vida Acuática</i>	
Agua dulce	Toxicidad crítica: 440 µg/L
Agua salada	Toxicidad crítica: 508 µg/L

FUENTE: (Arcos et al, 1994)

2.2.4 Cadmio (Cd)

El cadmio es un metal que se presenta en una variedad de formas químicas en residuos o en el ambiente. Aunque su presencia natural es baja, su prolongada vida media (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 se convierte 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 (Albert, 2007).



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, 2006).

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. El cadmio tiene efectos en la reproducción de peces en niveles presentes en aguas alta o moderadamente contaminadas (Cervantes y Moreno-Sánchez, 2003).

En la tabla 2.3 se presentan los criterios de calidad del agua (USEPA), para el Cadmio.

Tabla 2.3 Criterios en calidad del agua (USEPA)

<i>Vida Acuática</i>	
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 $\mu\text{g/L}$

FUENTE: (Arcos et al, 1994)

2.2.5 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 óxido-reducción (Cervantes y Moreno-Sánchez, 2003).

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 (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, 2003).

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 puede contener grandes cantidades de cobre después de que éste sea depositado desde el aire (Lenntech, 2006).

El cobre es 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, 2006).

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 viaja largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres (Lenntech, 2006).

2.2.6 Cromo (Cr)

El cromo funciona 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, 2003).

El compuesto más importante derivado del cromo (III) es el óxido crómico, Cr_2O_3 , el cual es muy estable, resistente a los ácidos y de alto punto de fusión y forman iones complejos, estables y coloridos. El cromo (VI) persiste 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, 2007).

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, 2003).

Debido a su insolubilidad, el cromo metálico no es tóxico en el agua. Los diversos compuestos del cromo hexavalente representan la mayor amenaza, 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; 2005).

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, 2005).

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 (Mantilla *et al*, 2002).

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 (Mantilla *et al*, 2002).

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 (Lenntech, 2006).

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, 2007).

En la tabla 2.4 se presentan los criterios de calidad del agua (USEPA), para el Cromo.



Tabla 2.4 Criterios en calidad del agua (USEPA)

<i>Vida Acuática Cr (III)</i>	
Agua dulce	Toxicidad crítica: $\text{Exp}\{0.819[\ln(\text{dureza})]+3.568\} \mu\text{g/L}$ Toxicidad crónica: $\text{Exp}\{0.819[\ln(\text{dureza})]+0.537\} \mu\text{g/L}$
Agua salada	Toxicidad aguda: 38 $\mu\text{g/L}$ Toxicidad crónica: 12 $\mu\text{g/L}$
<i>Vida Acuática Cr (VI)</i>	
Agua dulce	Toxicidad crítica: 11 $\mu\text{g/L}$ Toxicidad crónica: 7.2 $\mu\text{g/L}$
Agua salada	Toxicidad crítica: 1200 $\mu\text{g/L}$ Toxicidad crónica: 54 $\mu\text{g/L}$

FUENTE: (Arcos et al., 1994)

2.2.7 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 se evapora a temperatura ambiente y genera vapores de mercurio tóxicos. Su volatilización depende, de la superficie de evaporación, de la temperatura y de la ventilación (Klaassen y Watkins, 2001).

Las sales inorgánicas de mercurio existen en dos estados de oxidación: mercúricas (Hg^{2+}) y mercurosas (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, 2007).



Los niveles altos de acidificación en ríos, lagos y corrientes favorecen la presencia de mercurio en suelos, sedimentos y su conversión a metilmercurio. Esto explica la contaminación de peces con este metal en lugares en los que hay lluvia ácida (Albert, 2007).

Los compuestos mercuriales se dividen 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 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 (Mapfre, 2008).

Por sus efectos neurotóxicos, a los compuestos mercuriales orgánicos se les considera como los mercuriales más tóxicos en el hombre y animales. Así inhibe 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, 2003).

Las especies inorgánicas volatilizan 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 (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 circula 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, 2003).



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 produce efectos tóxicos en el tracto gastrointestinal, páncreas, hígado y corazón, involucrando los sistemas endocrino, inmunológico y el sistema nervioso central (Arcos et al., 1994).

En la tabla 2.5 se presentan los criterios de calidad del agua (USEPA), para el Mercurio.

Tabla 2.5 Criterios en calidad del agua (USEPA)

<i>Vida Acuática</i>	
Agua dulce	Toxicidad crítica: 1.1 µg/L Toxicidad crónica: 0.20 µg/L
Agua salada	Toxicidad crítica: 1.9 µg/L Toxicidad crónica: 0.10 µg/L

FUENTE: (Arcos et al., 1994)

2.2.8 Níquel (Ni)

El níquel se presenta en pequeñas cantidades en plantas, animales, en el agua de mar, el petróleo y en la mayor parte del carbón (Lenntech, 2006).

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 termina 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, 2006).

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 dañan a las plantas y altas concentraciones de níquel en aguas superficiales disminuyen el rango de crecimiento de las algas. Microorganismos sufren 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 peligroso cuando se excede la máxima cantidad tolerable. Esto causa 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, 2006).

En la tabla 2.6 se presentan los criterios de calidad del agua (USEPA), para el Níquel.

Tabla 2.6 Criterios en calidad del agua (USEPA)

<i>Vida Acuática</i>	
Agua dulce	Toxicidad aguda: $\text{Exp}\{0.76[\ln(\text{dureza})]+0.42\}$ µg/L Toxicidad crónica: $\text{Exp}\{0.76[\ln(\text{dureza})]+1.06\}$ µg/L
Agua salada	Toxicidad aguda: 140 µg/L Toxicidad crónica: 7.1 µg/L

FUENTE: (Arcos *et al.*, 1994)



2.2.9 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, 2007).

El plomo en el medio acuático existe principalmente como un catión divalente en la mayoría de las aguas no contaminadas y se vuelve absorbible 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, 2007).

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, 2007).

Efectos ambientales del plomo

Una vez que ha entrado al ambiente, el plomo pasa 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 tienen 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 (Albert, 2007).

2.2.10 Zinc (Zn)

Es un elemento esencial para el desarrollo de muchas clases de organismos vegetales y animales. El zinc 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 zinc. El zinc puede incrementar la acidez de las aguas (Lenntech, 2006).

Algunos peces acumulan zinc en sus cuerpos, cuando viven en cursos de aguas contaminados con zinc, cuando éste entra en los cuerpos de estos peces éste es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria (Lenntech, 2006).

Grandes cantidades de zinc se encuentran en los suelos. Cuando los suelos son granjas y están contaminados con zinc, los animales absorben concentraciones que son dañinas para su salud. El zinc soluble en agua que está localizado en el suelo puede contaminar el agua subterránea (Lenntech, 2006).

Las plantas a menudo tienen una toma de zinc que sus sistemas no manejan, debido a la acumulación de zinc en el suelo. En suelos ricos en zinc sólo un número limitado de plantas tiene la capacidad de sobrevivir. Finalmente, el zinc interrumpe 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, 2006).



ÁREA DE ESTUDIO

3.1 PARQUE ALAMEDA ORIENTE.

El Parque Ecológico Alameda Oriente se ubica en lo que anteriormente constituía el llamado Lago Xochiaca, el cual se encontraba adjunto al gran lago Salado de Texcoco. Al ser esta región lacustre la más baja del valle de México, propicio que los escurrimientos de las partes más elevadas, como Xochimilco, Zumpango y Chalco entre otros; desembocaran en esta zona (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

La Laguna de Xochiaca, fue un cuerpo estancado localizado al nor-poniente de la delegación Venustiano Carranza, limitado por el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, Ciudad Netzahualcóyotl y la colonia Ampliación Arenal (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

Su origen y evolución es similar al ex-lago de Texcoco, razón por la cual se considera como uno de los últimos reductos lagunares característicos de la Cuenca del Valle de México (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

Fue utilizado por muchos años como receptor de las aguas de desechos del aeropuerto, adquiriendo características propias de una laguna de estabilización para materia orgánica alterando con esto la calidad del agua, lo que agregado al constante depósito de basura, llantas, animales muertos y en los últimos años escombros y distintos materiales, provocó el rompimiento del equilibrio ecológico de la zona (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

Xochiaca es un caso típico de un ecosistema que se encuentra bajo condiciones de severa contaminación, afectando el entorno por la reproducción descontrolada de fauna nociva, olores fétidos y una deplorable imagen, así como un lugar propicio para la comisión de delitos (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

El Proyecto Xochiaca adquirió el nombre de "Alameda Oriente", cuando se integró al programa de dotación de áreas verdes establecido por el Gobierno de la Ciudad de México y pretendió sanear y rehabilitar 90 ha., donde se propició el establecimiento y desarrollo de



3.1.1 Ubicación.

El Parque Ecológico Alameda Oriente se ubica en Av. Bordo de Xochiaca S/N, esq. Prolongación Periférico, Col. Arenal 4ª sección, Delegación Venustiano Carranza, C. P. 15600. (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

Localizado a 19° 26'00'' de latitud norte y 99° 05'00'' de longitud oeste a una altura de 2234 msnm (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

3.1.2 Descripción zonal del Parque Alameda Oriente, D. F., México.

El parque está dividido en 9 zonas, de acuerdo a las actividades de mantenimiento, con las siguientes características:

Zona 1

Se localiza al sur del parque, sobre la Avenida Bordo Xochiaca. Ocupa una superficie aproximada de 15 ha., de las cuales, 14.8 ha. corresponden a áreas verdes. Presenta un kilómetro de arbolado como cortina rompe vientos. Entre los andadores y vialidades se encuentran diversas especies de arbolado, así como una cobertura de pasto (Figura 3.2).



Figura 3.2. Explanada principal del Parque Alameda Oriente.



Zona 2

Se ubica al oeste del parque, aun costado del Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México, sobre la antigua Avenida Vía Tapo. Tiene una superficie aproximada de 7.30 ha., siendo 6.25 ha. para áreas verdes. Posee alrededor de 750 m lineales de arbolado como cortina rompe vientos y áreas empastadas (Figura 3.3)



Figura 3.3 Áreas Verdes de la AO.

Zona 3

Se ubica al oeste del parque, a un costado del Aeropuerto Internacional Benito Juárez. Su superficie total aproximada es de 9.20 ha. de las cuales, 7.65 ha. corresponden a áreas verdes, un kilómetro de cortina rompe viento se encuentra en la zona, además de presentar una superficie empastada (Figura 3.4).



Figura 3.4. Representación de la zona 3.



Zona 4

Se ubica al este del parque, a un lado de la Avenida Prolongación Anillo Periférico. Su área total mide 9.62 ha. de las cuales 8.75 ha. corresponden a áreas verdes, presenta alrededor de 800 m lineales de cortina rompe viento y suelo empastado (Figura 3.5).



Figura 3.5 Presentación de la zona 4.

Zona 5

Se encuentra al sureste del parque. Tiene un área de 12.98 ha. y 12.78 ha. son áreas verdes. Esta zona se distingue por amplias áreas de pastizal y poca cobertura arbórea, que se ubican particularmente a las orillas de la misma (Figura 3.6).



Figura 3.6 Corredores del parque AO.



Zona 6

Se localiza al sureste del parque, entre las Avenidas Bordo Xochiaca y Prolongación Anillo Periférico. Posee 9.30 ha. y 7.70 ha. son consideradas de áreas verdes y campos de futbol; tiene aproximadamente un kilómetro de cortina rompe viento y suelos cubiertos de pasto (Figura 3.7).



Figura 3.7 Canchas de fútbol y pista de atletismo.

Zona 7

Se localiza al sur del parque, a un costado de la Avenida Bordo Xochiaca. La zona comprende jardinerías de plantas cactáceas y un área de arbolado; su superficie total es de 2.70 ha., con 2.20 ha. de áreas verdes. El arbolado antes mencionado se encuentra en las inmediaciones de la circulación vehicular (Figura 3.8).



Figura 3.8 Cactáreo del Parque Alameda Oriente.



Zona 8

Zona ubicada al noreste del parque, entre la antigua Avenida Vía Tapo y la Avenida Prolongación Anillo Periférico. Su superficie total es de 5 ha; siendo 4.80 ha de cobertura verde y canchas de baloncesto, cuenta con un kilómetro de cortina rompevientos y suelos empastados (Figura 3.9).



Figura 3.9 Canchas de baloncesto.

Zona 9

Esta zona se localiza al suroeste del parque. La superficie total que posee es de 11.70 ha. y únicamente 2.09 ha. corresponden a áreas verdes, en esta zona se encuentra un lago artificial cuyos bordos poseen una cubierta de pasto (Figura 3.10).



Figura 3.10 Lago y áreas verdes.



En la tabla 3.1 se encuentran enlistadas las especies de flora existente en el parque Ecológico Alameda Oriente.

Tabla 3.1. Especies forestales existentes dentro del Parque Alameda Oriente.

<i>Nombre Científico</i>	<i>Nombre Común</i>
<i>Acacia retinodes Schlttdl</i>	Acacia
<i>Eucalyptus camaldulensis Den</i>	Eucalipto
<i>Eucalyptus globulus Labill</i>	Eucalipto
<i>Casuarina equisetifolia J.R. Frost & g. Forst</i>	Casuarina
<i>Phoenix sp</i>	Palmera
<i>Populus tremuloides Michx</i>	Alamo
<i>Fraxinus uhdei (Wenz.) Lingelsh</i>	Fresno
<i>Schinus molle L.</i>	Pirul
<i>Cupressus sempervirens L.</i>	Ciprés Italiano
<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cedro Limón
<i>Pinus radiata D. Don</i>	Pino
<i>Jacaranda mimosaefolia D. Don</i>	Jacaranda
<i>Tamarix gallica</i>	Tamarix
<i>Salix bonplandiana, var. Fastigiata Kunth</i>	Ahuejote
<i>Callistemon citrinus (Curtis) Staff</i>	Calistemo
<i>Ulmus parvifolia Jacq</i>	Olmo

FUENTE: ÁREA DE APOYO TÉCNICA DEL PARQUE, 2009.

En la tabla 3.2 se enlistan los setos existentes en el Parque Alameda Oriente.

**Tabla 3.2. Especies de setos existentes dentro del Parque Alameda Oriente.**

<i>Nombre Científico</i>	<i>Nombre Común</i>
<i>Buxus sp</i>	Arrayán
<i>Pittosporum tabita</i>	Clavo
<i>Cupressus lindlegi</i>	Cedro Blanco
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto
<i>Juniperus horizontalis</i>	Junipero Horizontal
<i>Pyracantha sp</i>	Piracanto
<i>Schinus molle</i>	Pirul
<i>Nerium oleander</i>	Rosa Laurel
<i>Ligustrum japonicum</i>	Trueno

FUENTE: ÁREA DE APOYO TÉCNICA DEL PARQUE, 2009.

3.2 LAGO DEL PARQUE ECOLÓGICO ALAMEDA ORIENTE

El lago cuenta con 117,72 m² (11.77 ha.) y se localiza en la porción central de la Alameda Oriente (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

En la tabla 3.3. se presenta la distribución de la superficie total del Lago de Alameda Oriente.

Tabla 3.3. Distribución de la superficie total del Lago de Alameda Oriente

Áreas	Superficie en m ²
De espejo de agua	80, 560
De vialidad	8,137
De áreas verdes	26, 955
De fuentes	53
De área engravada	2, 024

FUENTE: ÁREA DE APOYO TÉCNICA DEL PARQUE, 2009.



Para su construcción se llevaron a cabo actividades de dragado, estabilización, impermeabilización y llenado del vaso receptor, el cual tiene una profundidad promedio de 1.26 m y un volumen actual de llenado de 100,646.46 m³, el cual es modificado por la precipitación, evaporación y filtración (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

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 Parque Alameda Oriente se torna oscura con coloración verdosa, en caso contrario de los lagos oligotróficos (Harrison, 2007).

En la tabla 3.4 se presentan las características generales de los lagos oligotróficos y eutróficos.



Tabla 3.4. Características generales de los lagos oligotróficos y eutróficos.

	<i>OLIGOTRÓFICOS</i>	<i>EUTRÓFICOS</i>
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: (Harrison, 2007)

3.2.1 Factores que afectan el volumen del lago

3.2.1.1 Precipitación

La precipitación media anual es de 600 mm. Pero en lo que va del año se han registrado lluvias escasas, por lo que no se considera como un aporte de agua al lago en el presente ciclo (Gaceta AO; 2006).



3.2.1.2 Evaporación.

En la zona, los valores de temperatura, viento, insolación, cubierta vegetal, etc., determina una media de evaporación de 2,000 mm. Anuales, siendo los meses de Febrero, Marzo, Abril y Mayo los de mayor evaporación (Gaceta AO; 2006).

En el periodo de Enero a Mayo, la media mensual aproximadamente es de 166 mm. y la total de 830 mm (Gaceta AO; 2006).

3.2.1.3 Extracción para Riego.

Por ser los meses de éste ciclo los más secos se han realizado el riego al máximo, bombeando del lago un promedio de 73000 litros. En los meses de Enero a Mayo (Gaceta AO; 2006).

3.2.1.4 Filtración.

Para evaluar la filtración se relaciona:

Volumen inicial del lago en Enero	91, 158,710	1	
Volumen suministrado por D.G.C.O.H	<u>151, 019,000</u>	1	
	242, 177, 710	1	menos
Volumen actual del Lago	<u>100, 646, 460</u>	1	
	140, 531, 250	1	menos
Evaporación de Enero a Mayo	<u>64, 268, 560</u>	1	
	76, 262, 610	1	menos
Extracción para riego de Enero a Mayo	<u>73, 000,000</u>	1	
Filtración de Enero a Mayo	3, 262, 610	1	



Esta filtración al humedecer constantemente los taludes acelera el deterioro, lo que aunado a la deformación natural del terreno, hundimiento regional y alta compresibilidad del suelo, provoca la deformación de los taludes, por lo que se deben de realizar obras de rehabilitación a corto plazo (Gaceta AO; 2006).

3.2.2 Factores que afectan la estructura del lago.

Por ser el lago un vaso regulador o cisterna de depósito, un cuerpo de agua recreativo y ecológico, su rehabilitación y mantenimiento requiere de la evaluación constante de factores que lo afectan (hundimiento regional, deformación de su estructura, análisis meteorológico y calidad del agua recibida principalmente) (Gaceta AO; 2006).

3.2.2.1 *Hundimiento regional y deformación de estructura.*

Se determina mensualmente usando el banco de nivel del Cerro del Peñon como punto de partida y 19 puntos antes de entrar a la Alameda (B.N. a P.L. 19), dentro de la Alameda se tienen 7 bancos de nivel (B.N. 1-B.N. 7). Para determinar el hundimiento del lago se realizan 21 mediciones partiendo de B.N. 3 como punto de comparación (Gaceta AO; 2006).

3.2.2.2 *Análisis Meteorológico.*

Para ésta evaluación se obtienen las mediciones realizadas por las estaciones meteorológicas del Aeropuerto Internacional y Comisión del Lago de Texcoco del Servicio Meteorológico Nacional, determinando principalmente la precipitación, evaporación, temperatura, vientos y humedad relativa (Gaceta AO; 2006).

3.2.2.3 *Calidad del Agua Suministrada.*

Con apoyo de la comisión del Lago de Texcoco se realizan mensualmente análisis físico-químico y bacteriológico del agua, lo que permite conocer los índices de seguridad para su uso (riego, recreativo, ecológico) (Gaceta AO; 2006).

3.2.3 Características del lago artificial.



3.2.3.1 Impermeabilización del Talud mojado con un material plástico impermeable.

Consistió en la colocación sobre el talud de una capa de 10 cm de bentonita-arena-cemento en proporción de 58-14-28 con una resistencia similar a la de un talud compactado al 90% y con la vegetación típica de la zona, misma que disminuye la erosión provocada por el oleaje en los taludes (Figura 3.11) (Gaceta AO; 2006).

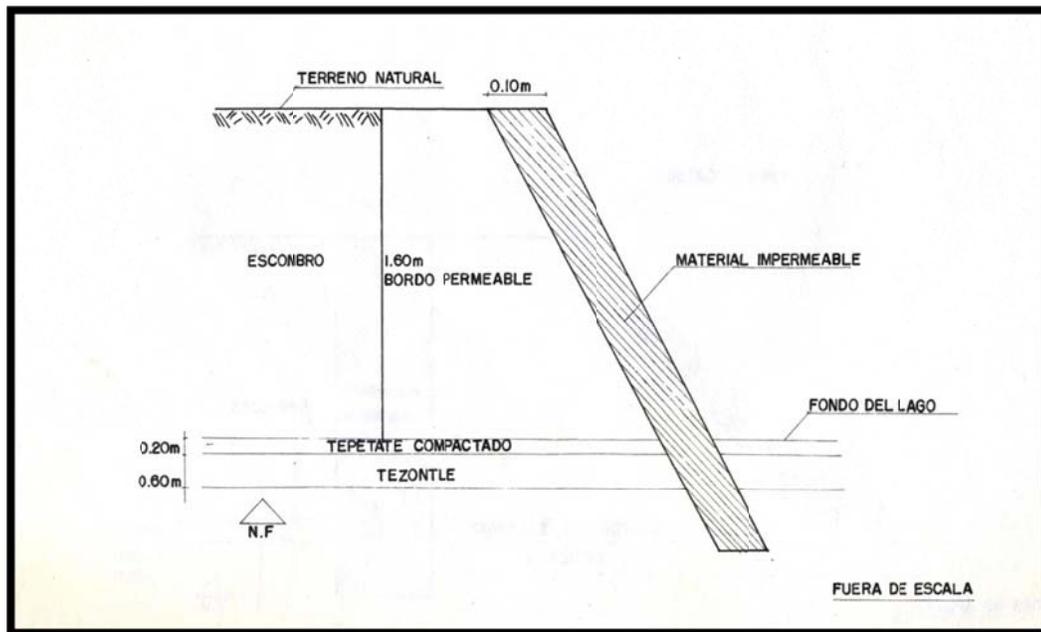


Figura 3.11 Impermeabilización del Talud.

3.2.3.2 Impermeabilización con pantalla impermeable sobre el bordo.

Se impermeabilizó el bordo con una pantalla de 50 cm de bentonita-cemento-arena y se estabilizó el talud con un enrocamiento y el establecimiento de vegetación típica.

En los dos casos se tiene que verificar periódicamente los asentamientos del bordo de protección ya que es necesario sobreelevar el bordo en forma diferencial, debido a que la estructura está desplantada en una zona de alta compresibilidad con hundimiento regional de 1.7 cm por mes aproximadamente (Figura 3.12) (Gaceta AO; 2006).

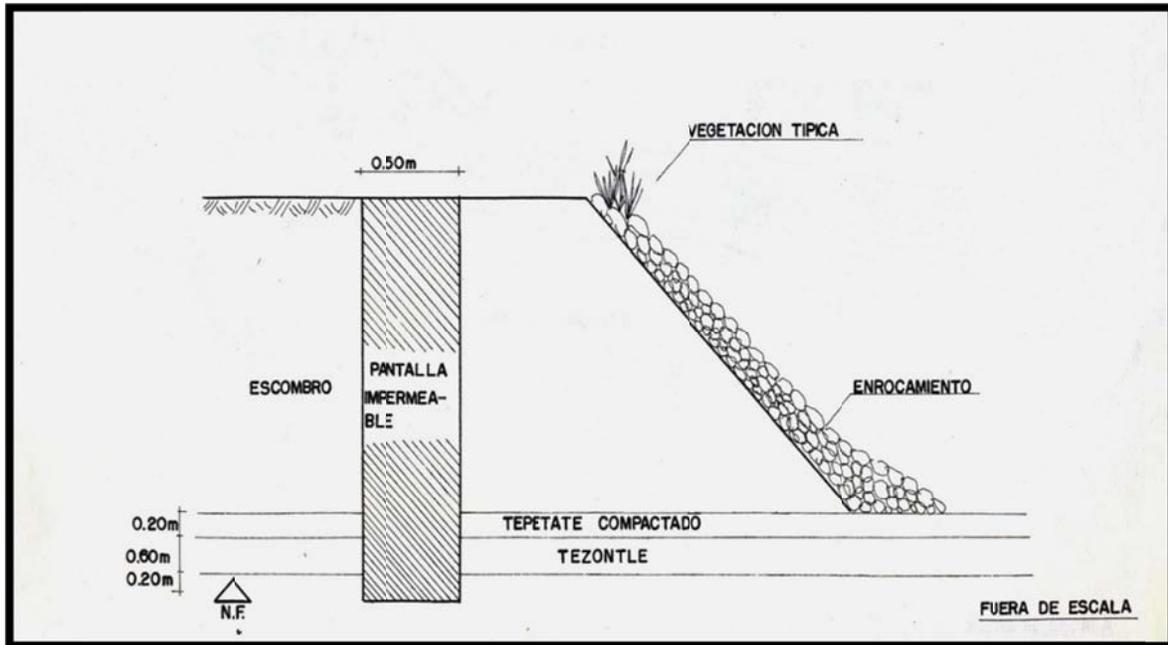


Figura 3.12 Impermeabilización con Pantalla

3.2.3.3 Sobreelevación de los bordos de hasta 2232.80 msnm.

El espesor de rehabilitación es de 0.0 a 0.6 m. La rehabilitación se realizó con un enrocamiento de cascajo seleccionado en forma de placa de 20 cm. de lado, sin dañar la capa permeable. Con esta solución solo pudo llenarse las celdas hasta el nivel menor donde exista capa impermeable (Gaceta AO; 2006).

El talud mínimo aceptable es 2:1 en la corona se colocó material de base (limo-arenoso compacto) en un espesor de 20 cm para alcanzar la elevación de rehabilitación propuesta. Se usará un bombeo de 2.0% con parteaguas al centro de la corona o desde 2 m en los taludes perimetrales (Figura 3.13) (Gaceta AO; 2006).

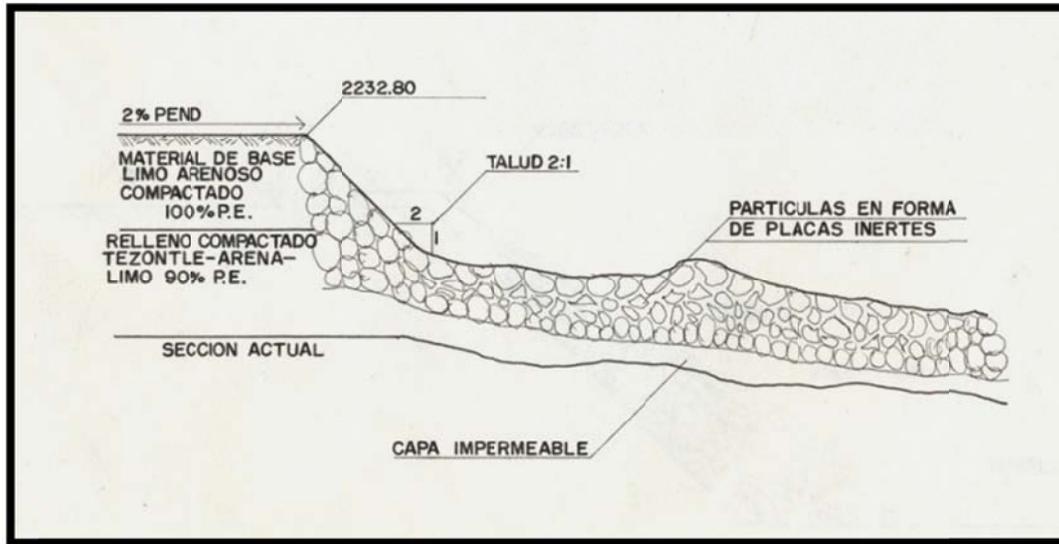


Figura 3.13 Sobreelevación y taludes perimetrales

3.2.3.4 Impermeabilización natural

Modificación de la pendiente actual realizando un enrocamiento y colocando un material fino que favorecer la sedimentación natural, con la que se tendrá una menor filtración del agua hacia el talud, protegiendo así de la erosión ocasionada por el oleaje y corrientes asociadas (Figura 2.14) (Gaceta AO; 2006).

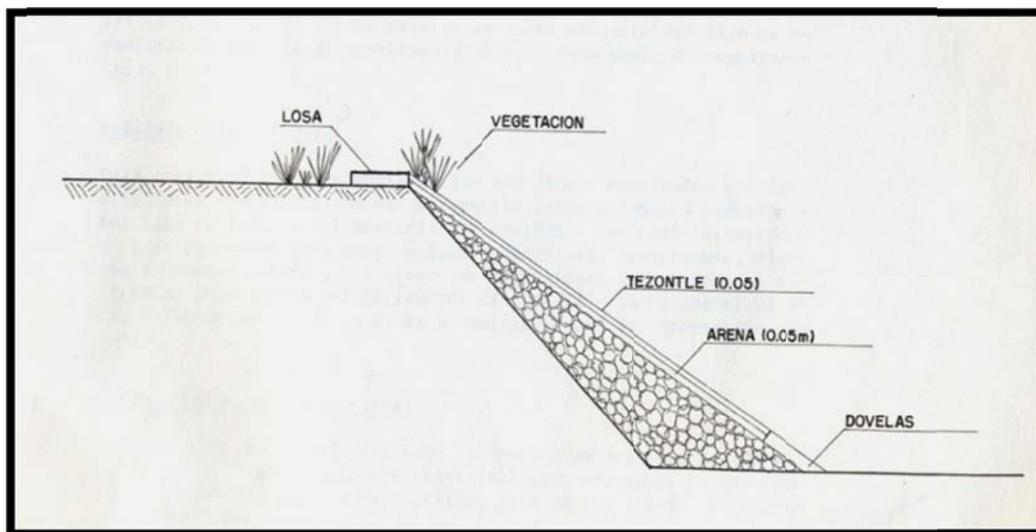


Figura 3.14 Impermeabilización con Pantalla



3.2.4 Especies habitantes en el lago.

El lago Alameda Oriente alberga a 22 especies de aves acuáticas migratorias como la cigüeñela, gallareta, pato cucharón, garza dedos dorados, pato real, chorlito tildio, ganso y patos domésticos, etc. eligen el lago para pasar el invierno (figura3.15) (Gaceta AO; 2006).



Figura 3.15 Aves que habitan el lago del Parque Alameda Oriente

Actualmente las actividades realizadas en el lago son de recreación. Sin embargo, es fundamental diagnosticar las condiciones del cuerpo de agua, con el fin de que se tenga la información necesaria y así realizar un Programa de Manejo Integral del lago.



METODOLOGÍA

4.1 TRABAJO DE CAMPO.

El trabajo de campo se realizó en el Lago Alameda Oriente, ubicado dentro del Parque Ecológico Alameda Oriente en la delegación Venustiano Carranza, Distrito Federal, en la Figura 4.1 se muestra una vista panorámica del sitio de trabajo.



Figura 4.1. Vista panorámica del sitio de estudio: Lago de Alameda Oriente. (Google earth, 2010)

4.1.1. Toma de Muestras.

El muestreo se realizó en 65 puntos estratégicos del lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, recolectando de 10 a 15 muestras por esclusa y el procedimiento fue en base a las leyes ambientales mexicanas como son:



4.1.2. 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.

4.1.3. 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.

4.1.4 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.



4.1.5 USEPA

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.

De esta forma y tomando en cuenta dichas leyes el procedimiento fue el siguiente

- a) Los 65 recipiente para las muestras de agua se lavaron con detergente, se enjuagaron con agua destilada y después con ácido nítrico al 20 % (agua acidulada), posteriormente se volvieron a enjuagar con agua destilada para después dejar secar, en la figura 4.2 se muestra parte de la preparación del lavado de los recipientes.



Figura 4.2. Lavado de los contenedores para las muestras

- b) En la recolección de las muestras se registraron las siguientes lecturas:



- Determinación de pH (Figura 4.3) y Oxígeno Disuelto (Figura 4.4)



Figura 4.3. Determinación de pH

Figura 4.4. Determinación de Oxígeno Disuelto

- Temperaturas ambiental y del cuerpo de agua (Figura 4.5)



Figura 4.5 Medición de temperatura ambiental y del cuerpo de agua.



- Sólidos disueltos y totales (Figura 4.6) y Coordenadas del punto donde se tomó cada muestra (Figura 4.7)



Figura 4.6. Medición de Sólidos Totales.



Figura 4.7. Toma de Coordenadas

- c) A cada una de las muestras se les añadió 2 mL de ácido nítrico concentrado grado suprapuro (libre de metales) hasta obtener un pH < 2 para evitar interferencias en las lecturas y éstas se mantuvieron a temperatura ambiente hasta su análisis (Figura 4.8).



Figura 4.8. Adición del ácido nítrico.

- d) El tiempo máximo que se pueden almacenar las muestras es de 6 meses.



4.2 Trabajo de Laboratorio.

Todas las muestras fueron determinadas por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) respetando la *NMX-AA-051-SCFI-2001*. La cual nos indica el método de prueba.

4.2.1. Material

- Todo el material volumétrico utilizado en este método estuvo 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, sodio, 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.



4.2.2. Limpieza del material

- Todo el material usado en esta determinación fue 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 recipientes de las muestras se lavaron con disolución de detergente no iónico, libre de metales, se enjuagaron con agua, para después 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 HNO₃ (1:5), HCl (1:5) o con agua regia (3 partes de HCl concentrado + 1 parte de HNO₃ 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.

4.2.3. Metodología.

4.2.3.1 Preparación de la muestra para la determinación de metales pesados por digestión en aguas naturales, potables y residuales según la NMX-AA-051-SCFI-2001.

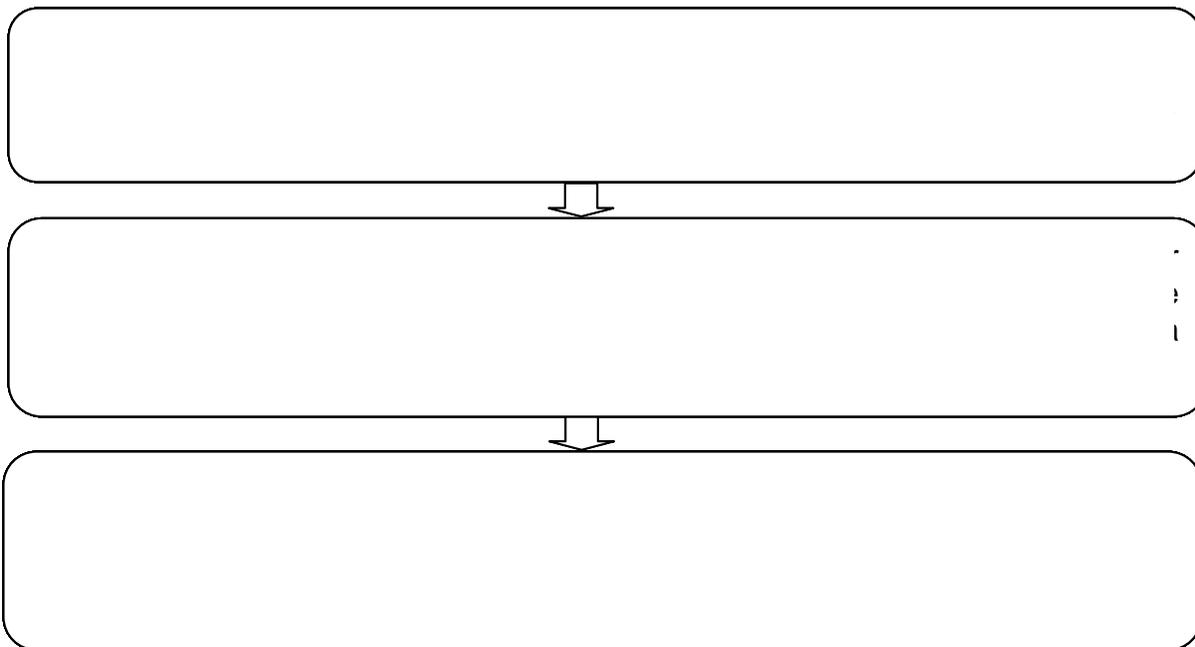




Figura 4.9. Contenedores para los vasos de teflón

[Empty rectangular box for notes]

5
1

[Empty rectangular box for notes]

[Empty rounded rectangular box for notes]

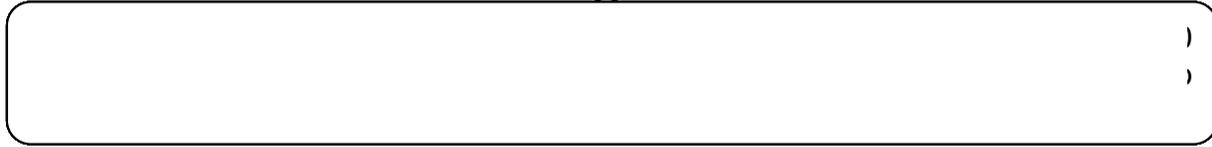
[Empty rounded rectangular box for notes]

/
1
)





Figura 4.10. Digestor u Horno de microondas (Mars 5)

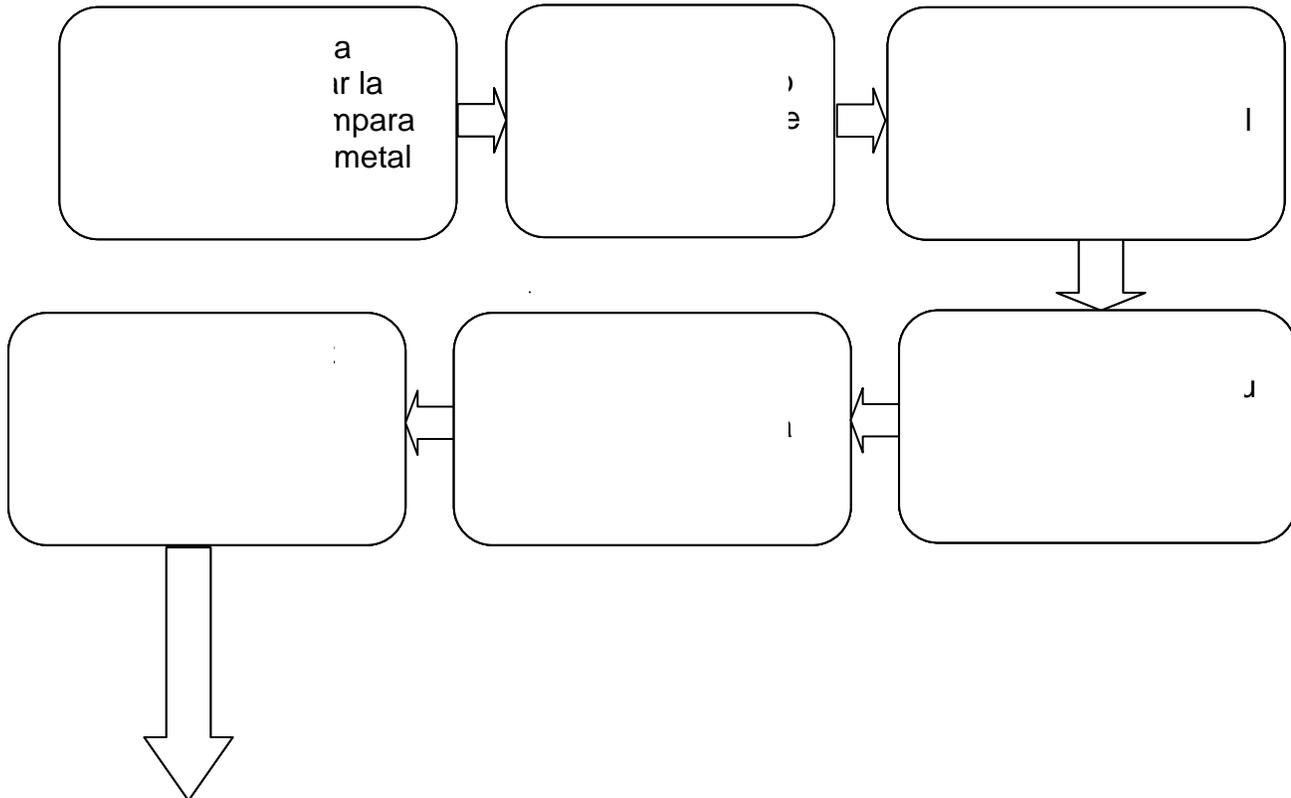


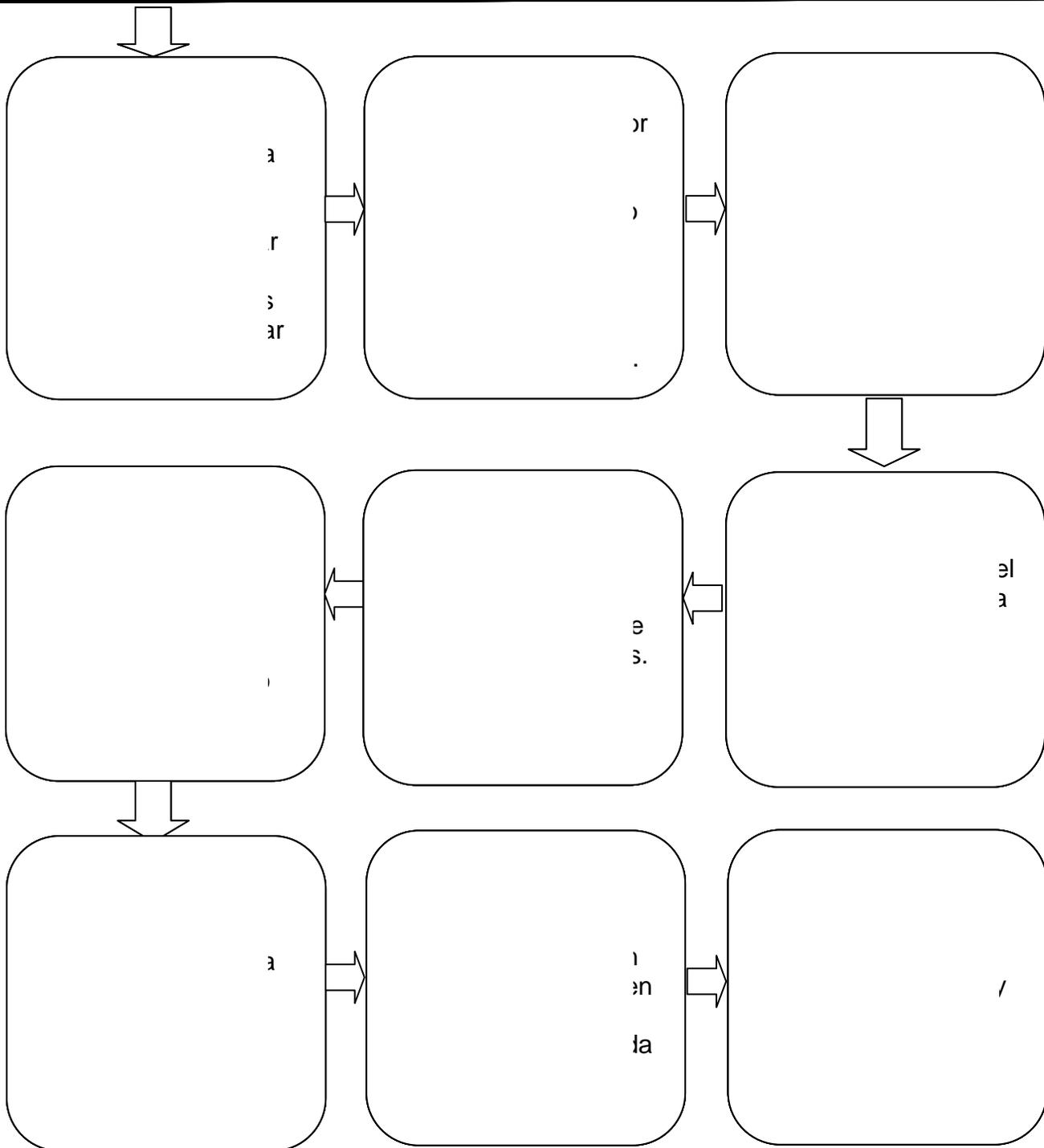
4.2.3.2. Generador de hidruros. (Análisis de Mercurio)



Figura 4.11. Espectrofotómetro (Perkin-Elmer 2380)

Con aditamento de generación de hidruros.



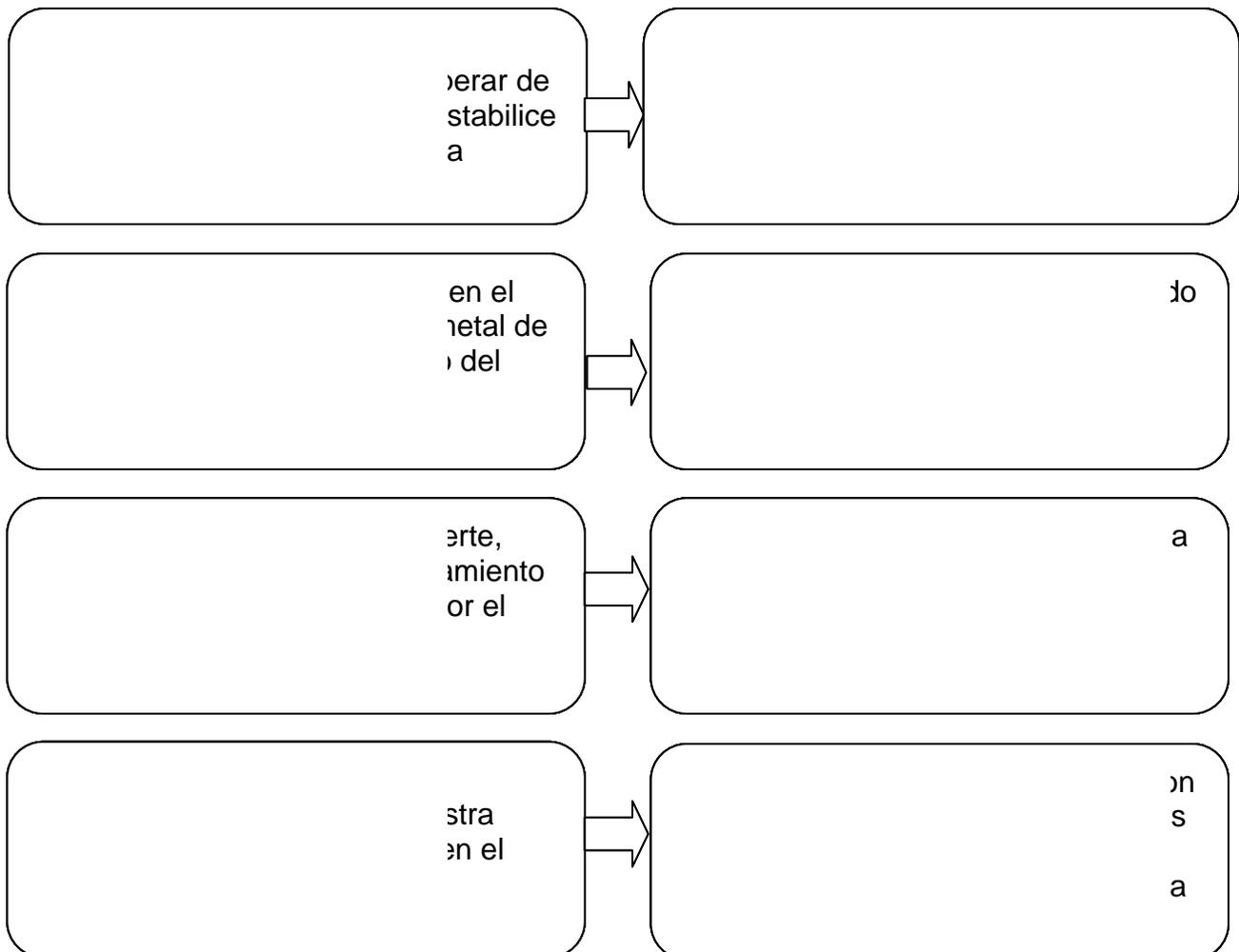


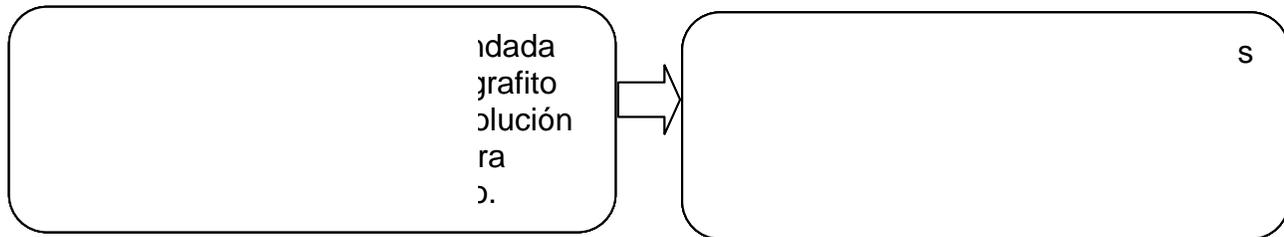


4.2.3.3. *Horno de grafito. (Análisis de Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Níquel, Plomo y Zinc).*



Figura4.12. *Espectrofotómetro (Perkin-Elmer Analyst 700) Con aditamento de horno de grafito.*





4.3. Trabajo de Gabinete.

4.3.1 Antecedentes del Paquete Surfer 8.

El Surfer 8 es un programa que hace 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 no 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 8 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 espaciamento, 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 del Parque Alameda Oriente, la distribución de los metales pesados en sus diferentes esclusas a partir de las concentraciones obtenidas en el análisis que se les realizó a las 65 muestras y la ubicación (latitud y longitud) de los puntos de recolección de muestras. Por último el formato de los mapas nos permite observar de una manera clara las zonas con mayores y menores concentraciones de cada metal.



RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN

5.1 Resultados.

Tabla 5.1. Concentración de Metales Pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F.

Esclusa I.

<i>METALES PESADOS EN AGUA</i>								
<i>Metal</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<i>Masa atómica</i>	75	112	52	63	200	60	208	66
<i>Concentración</i>	$\mu\text{g/L}$							
<i>Muestra</i>								
<i>M1</i>	10,94,7	0,098	1,886	16,137	0,275	4,766	1,591	64,366
<i>M2</i>	8,097	0,098	1,513	17,876	0,323	7,145	2,121	100,101
<i>M3</i>	8,921	0,098	1,681	18,119	0,275	3,551	1,401	61,001
<i>M4</i>	7,999	0,098	1,996	20,550	0,275	6,055	3,067	113,528
<i>M5</i>	8,154	0,098	1,487	16,266	0,275	3,021	1,248	41,251
<i>M6</i>	8,258	0,098	1,577	16,366	0,275	2,761	1,030	30,345
<i>M7</i>	8,941	0,098	1,992	19,183	0,278	4,030	0,940	60,696
<i>M8</i>	7,844	0,098	2,705	27,499	0,275	6,243	6,123	270,015
<i>M9</i>	7,827	0,098	1,612	17,210	0,275	3,950	1,548	77,167
<i>M10</i>	8,341	0,098	1,792	16,621	0,339	3,645	1,226	35,930
<i>M11</i>	8,607	0,098	1,916	16,631	0,275	3,940	1,565	40,379
<i>M12</i>	7,832	0,098	1,648	17,818	0,287	2,981	1,141	29,893
<i>M13</i>	9,208	0,098	1,867	17,633	0,275	3,171	1,450	42,116
<i>M14</i>	8,337	0,098	1,865	27,664	0,403	4,827	3,014	59,097
<i>M15</i>	8,739	0,098	1,682	16,121	0,275	3,548	1,236	39,310



- Reporte gráfico de la determinación de metales pesados en la esclusa I.

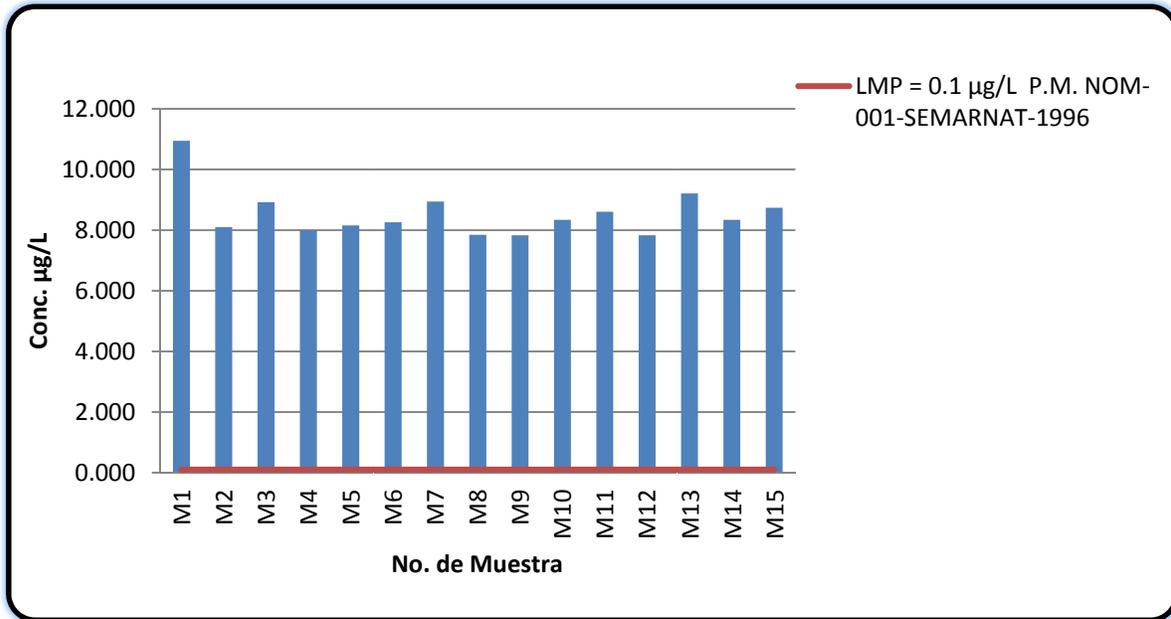


Figura 5.1. Concentraciones de Arsénico en la esclusa I

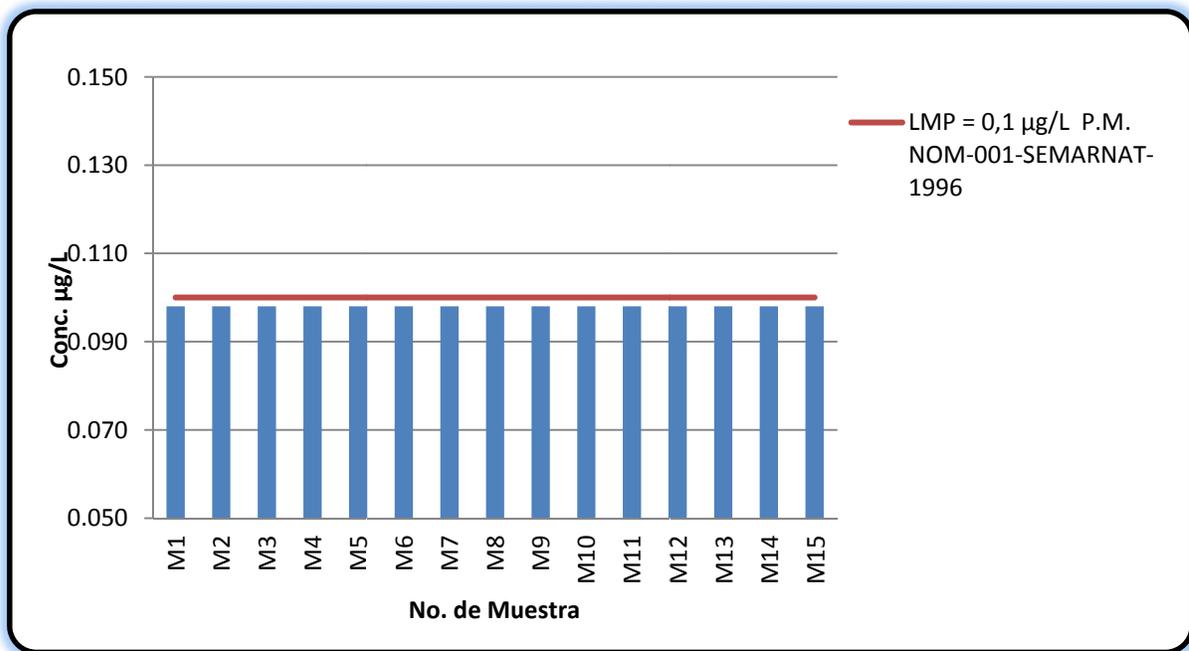


Figura 5.2. Concentraciones de Cadmio en la esclusa I

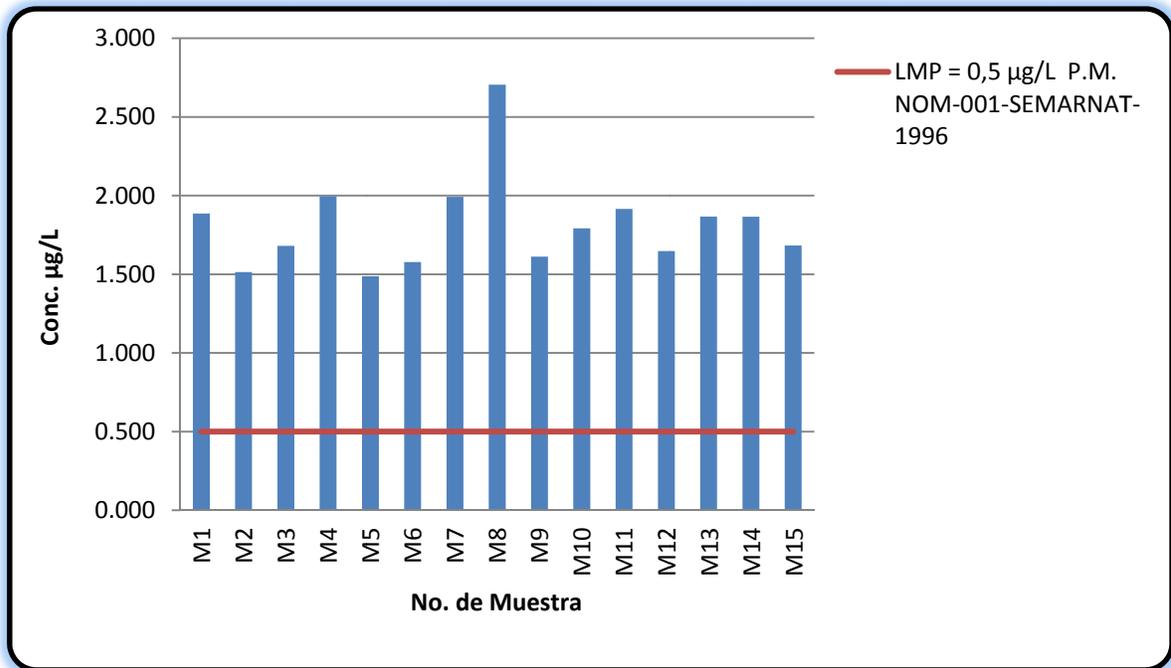


Figura 5.3. Concentraciones de Cromo en la esclusa I

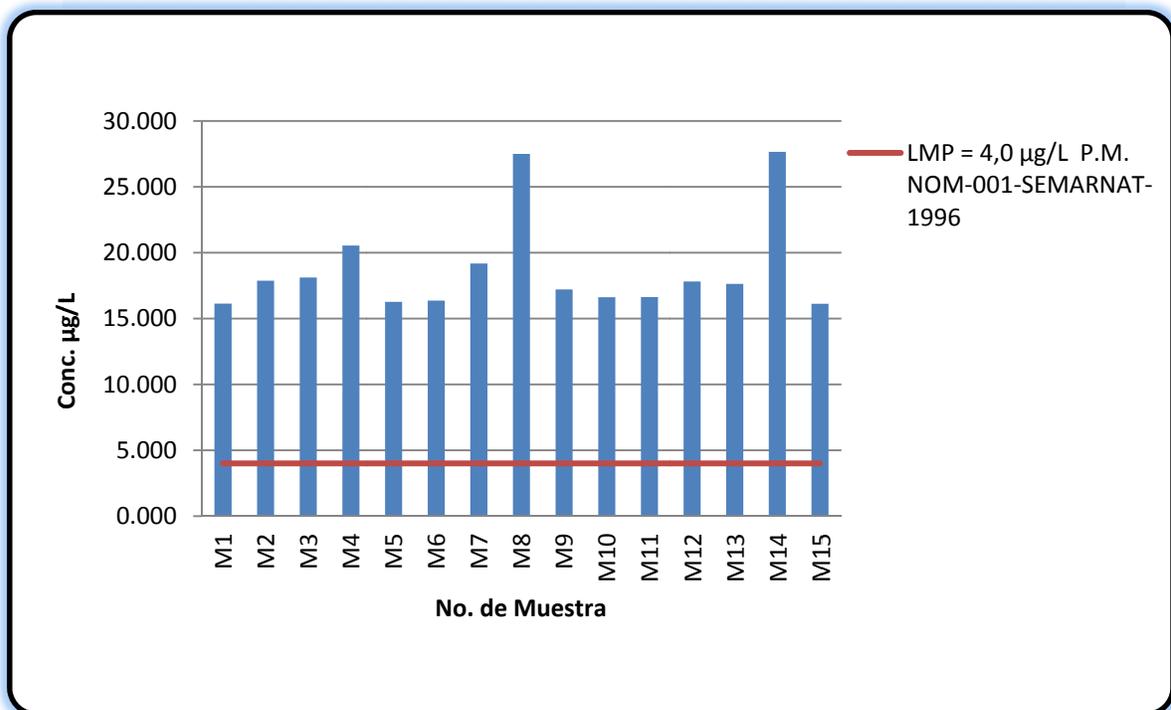


Figura 5.4. Concentraciones de Cobre en la esclusa I

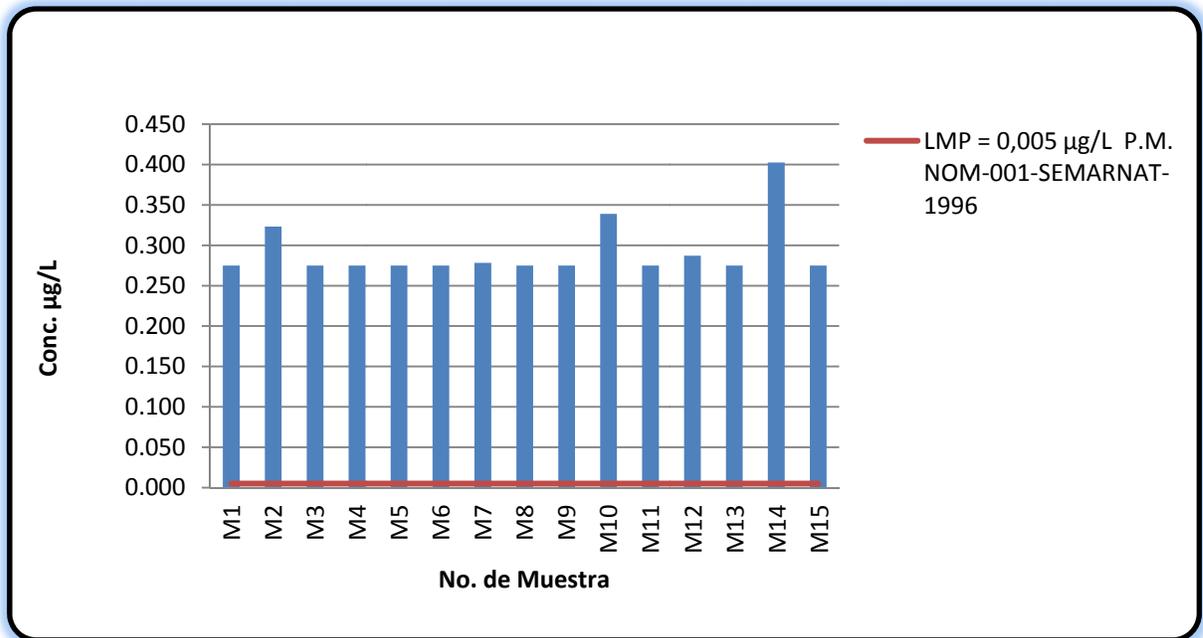


Figura 5.5. Concentraciones de Mercurio en la esclusa I

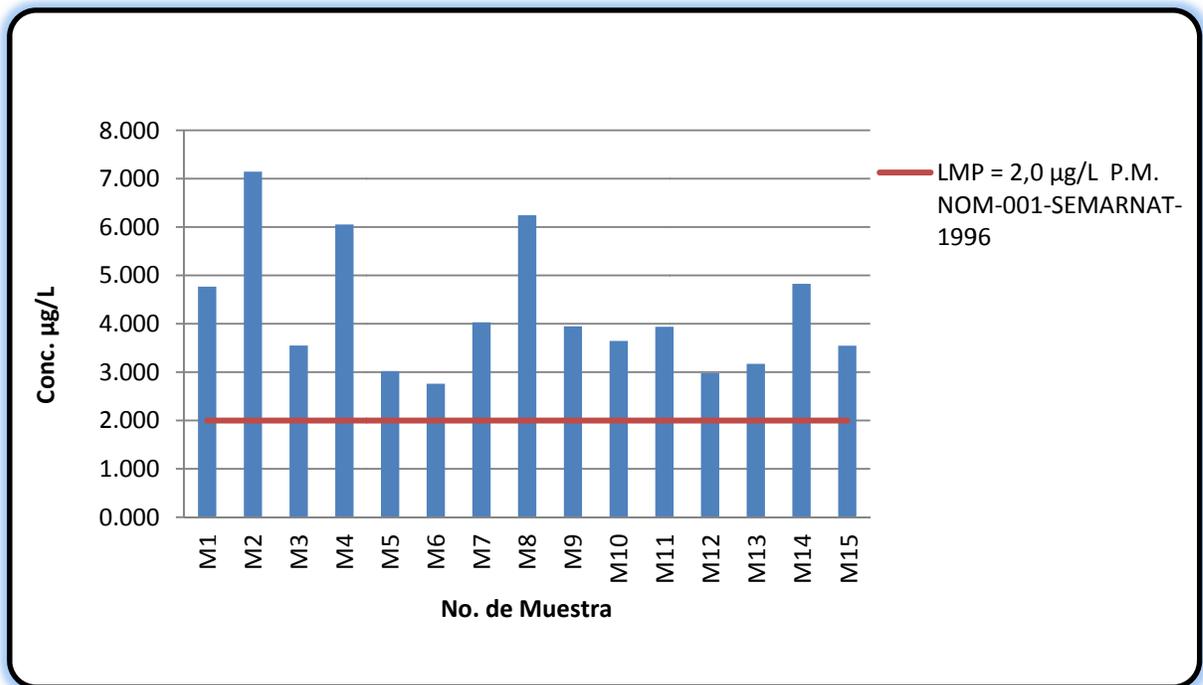


Figura 5.6. Concentraciones de Níquel en la esclusa I

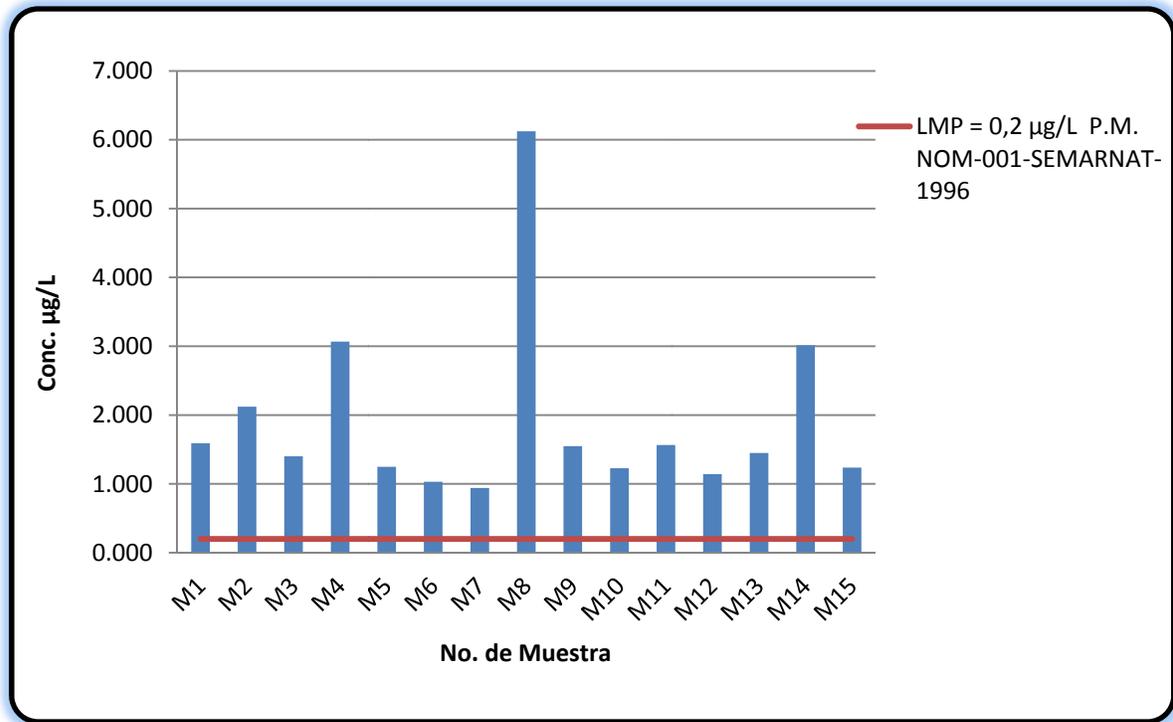


Figura 5.7. Concentraciones de Plomo en la esclusa I

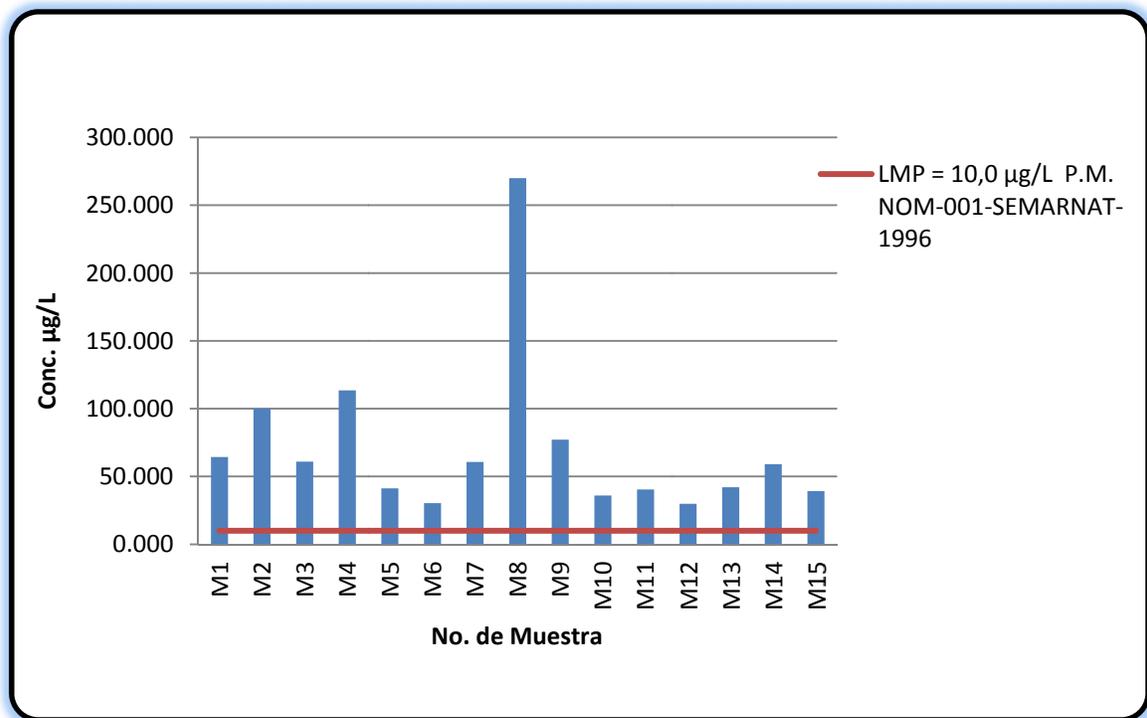


Figura 5.8 Concentraciones de Zinc en la esclusa I



Tabla 5.2. Concentración de Metales Pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F.

Esclusa II.

<i>METALES PESADOS EN AGUA</i>								
<i>Metal</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<i>Masa atómica</i>	75	112	52	63	200	60	208	66
<i>Concentración</i>	$\mu\text{g/L}$							
<i>Muestra</i>								
<i>M16</i>	8,737	0.098	1,691	17,589	0.275	2,913	1,896	50,650
<i>M17</i>	7,669	0.098	1,272	15,031	0,352	1,892	1,407	37,714
<i>M18</i>	7,338	0.098	1,374	20,432	0,354	3,956	1,445	39,102
<i>M19</i>	8,138	0.098	1,717	17,405	0,300	2,359	2,426	62,788
<i>M20</i>	7,856	0.098	1,580	16,452	0,415	1,789	1,267	34,751
<i>M21</i>	9,972	0.098	1,973	19,048	0.275	3,905	1,810	38,523
<i>M22</i>	9,905	0.098	1,841	31,025	0.275	3,774	3,213	55,601
<i>M23</i>	8,220	0.098	1,890	17,292	0.275	2,833	4,345	89,009
<i>M24</i>	8,063	0.098	1,638	17,684	0.275	2,924	1,507	36,974
<i>M25</i>	8,244	0.098	1,802	18,546	0.275	2,930	2,175	62,029

- Reporte gráfico de la determinación de metales pesados en la esclusa II.

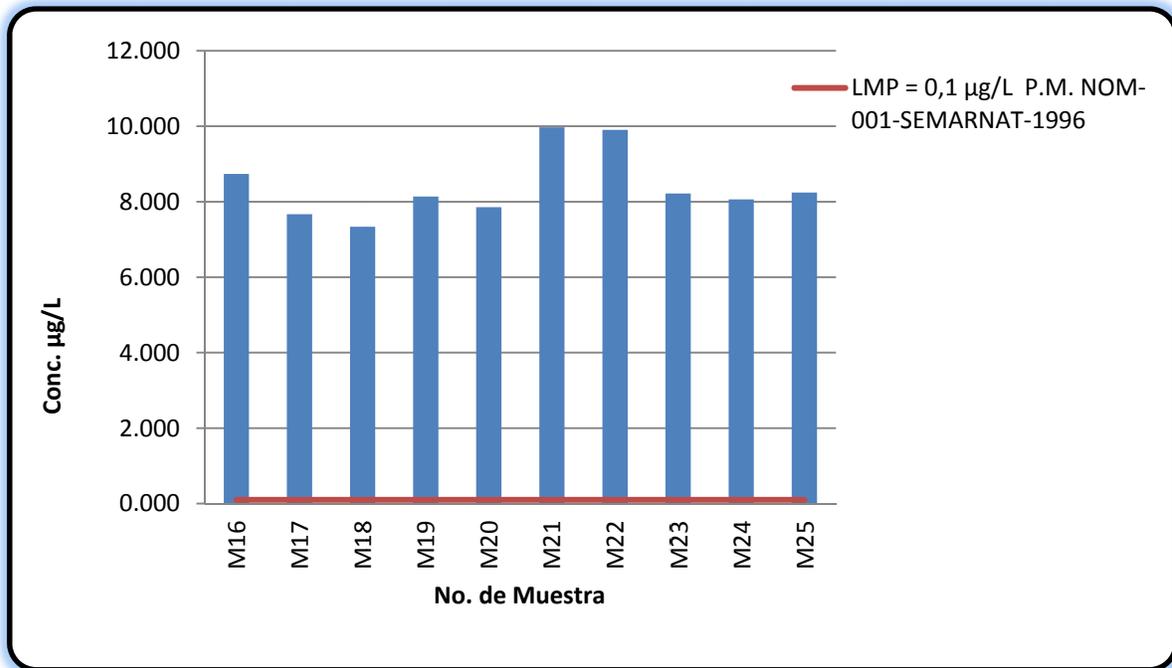


Figura 5.9. Concentraciones de Arsénico en la esclusa II

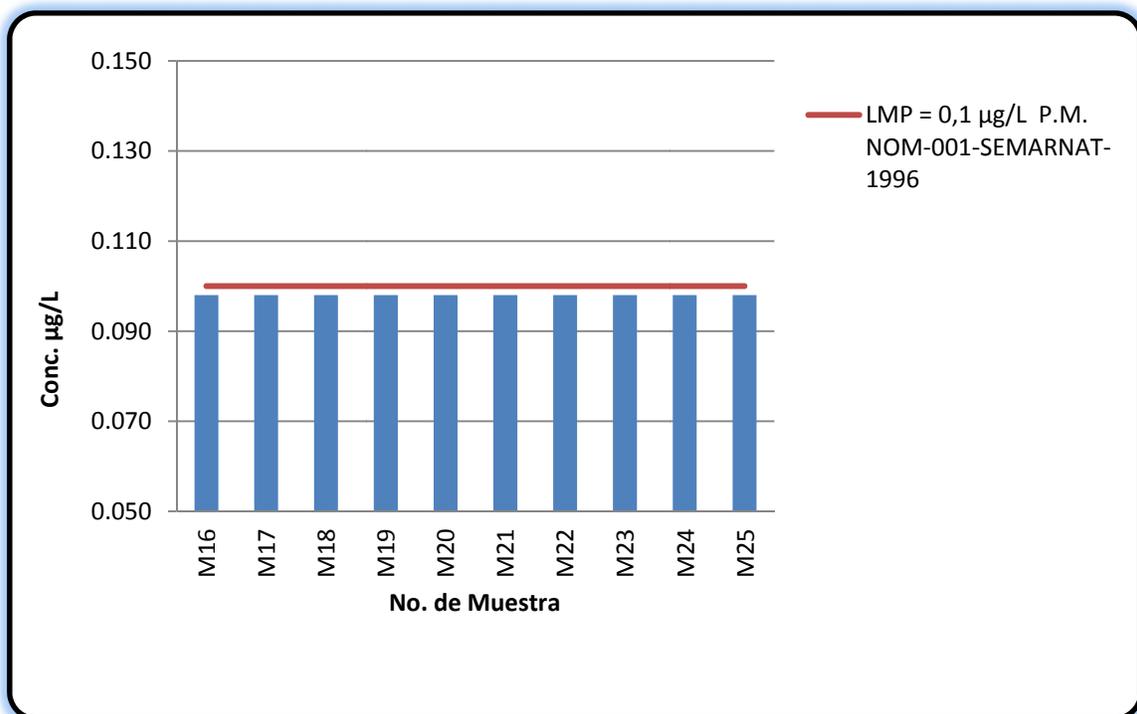


Figura 5.10. Concentraciones de Cadmio en la esclusa II

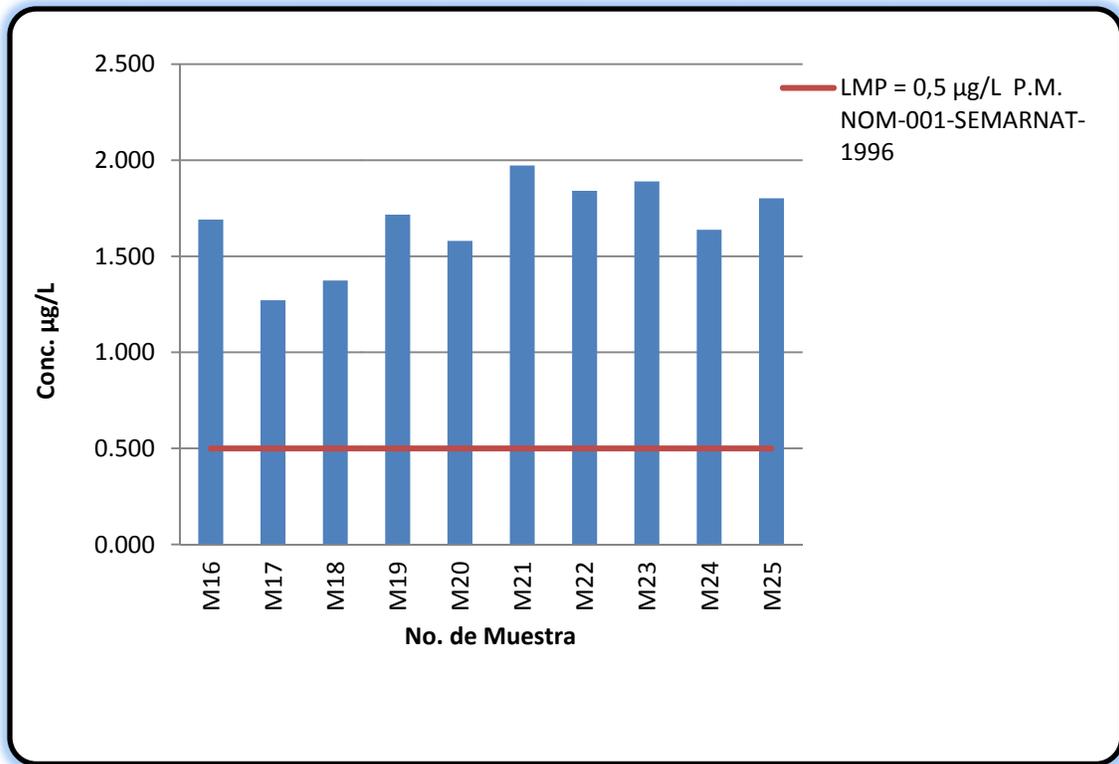


Figura 5.11. Concentraciones de Cromo en la esclusa II

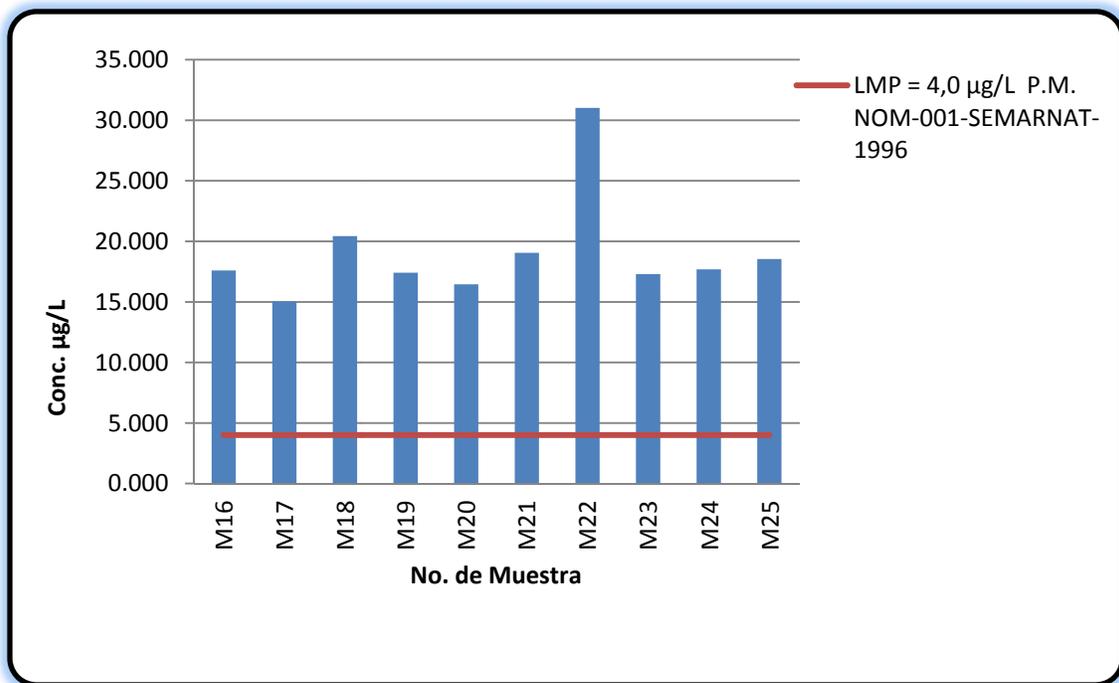


Figura 5.12. Concentraciones de Cobre en la esclusa II

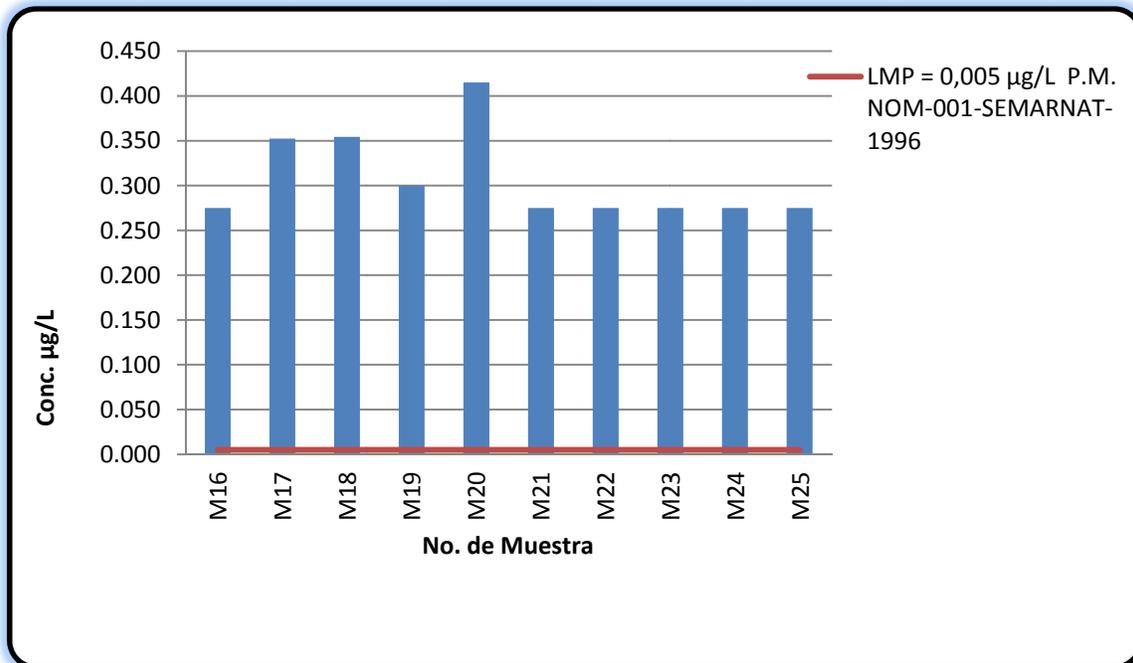


Figura 5.13. Concentraciones de Mercurio en la esclusa II

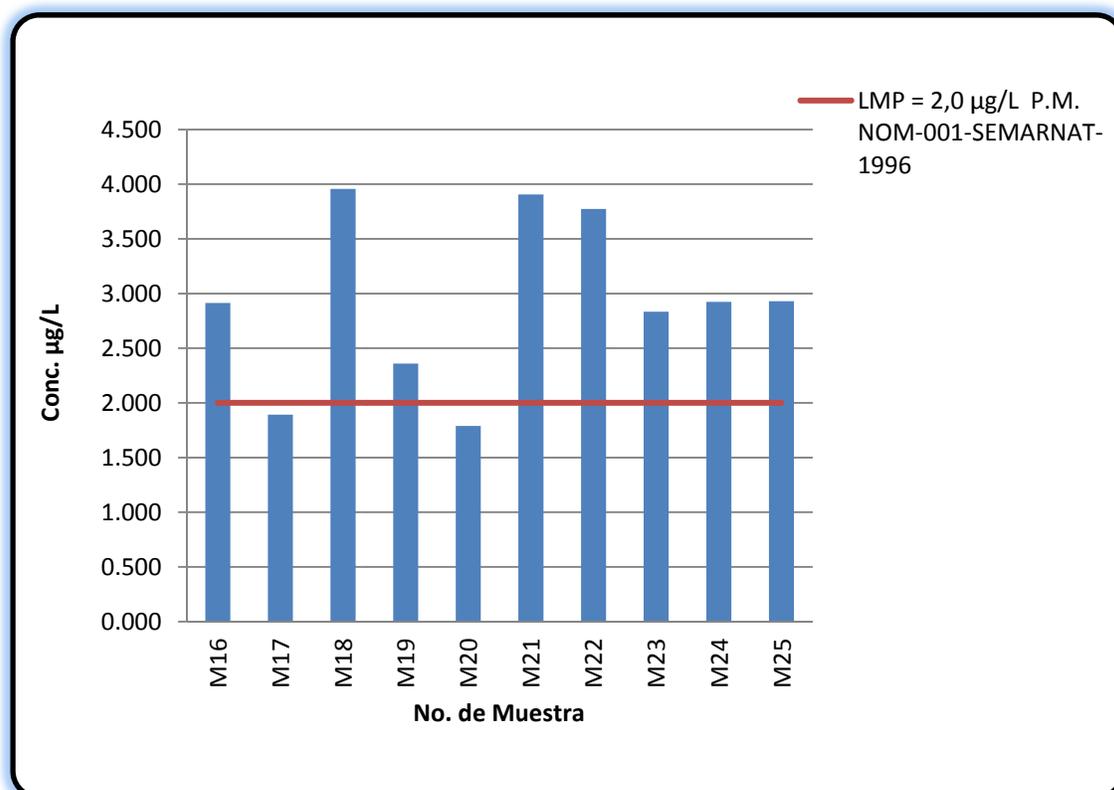


Figura 5.14. Concentraciones de Níquel en la esclusa II

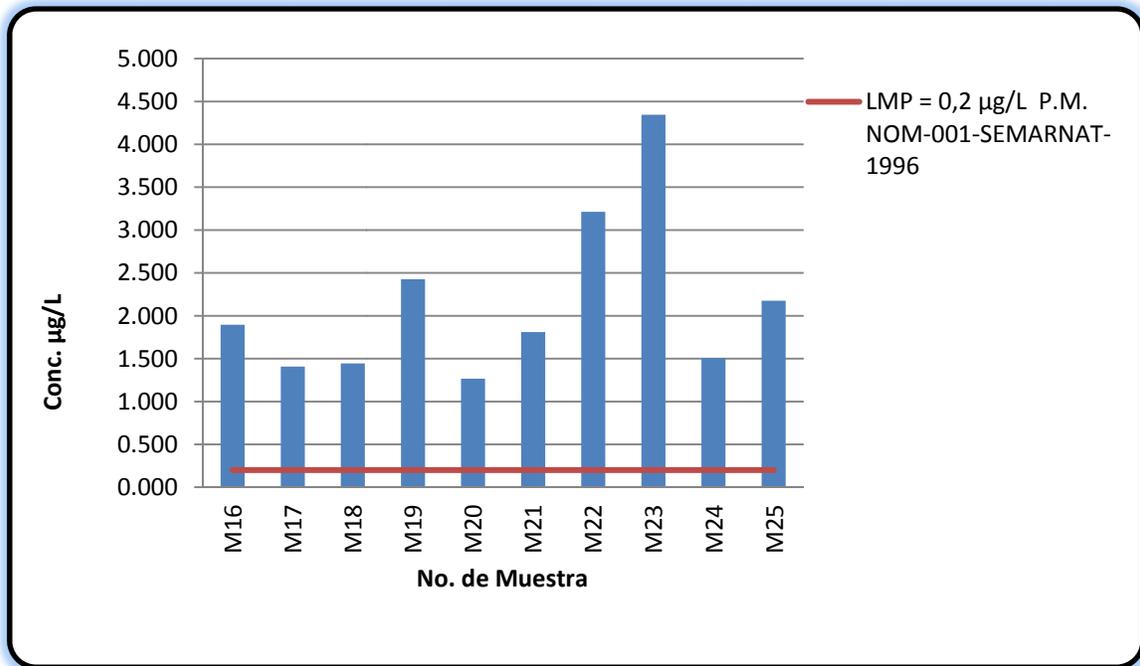


Figura 5.15. Concentraciones de Plomo en la esclusa II

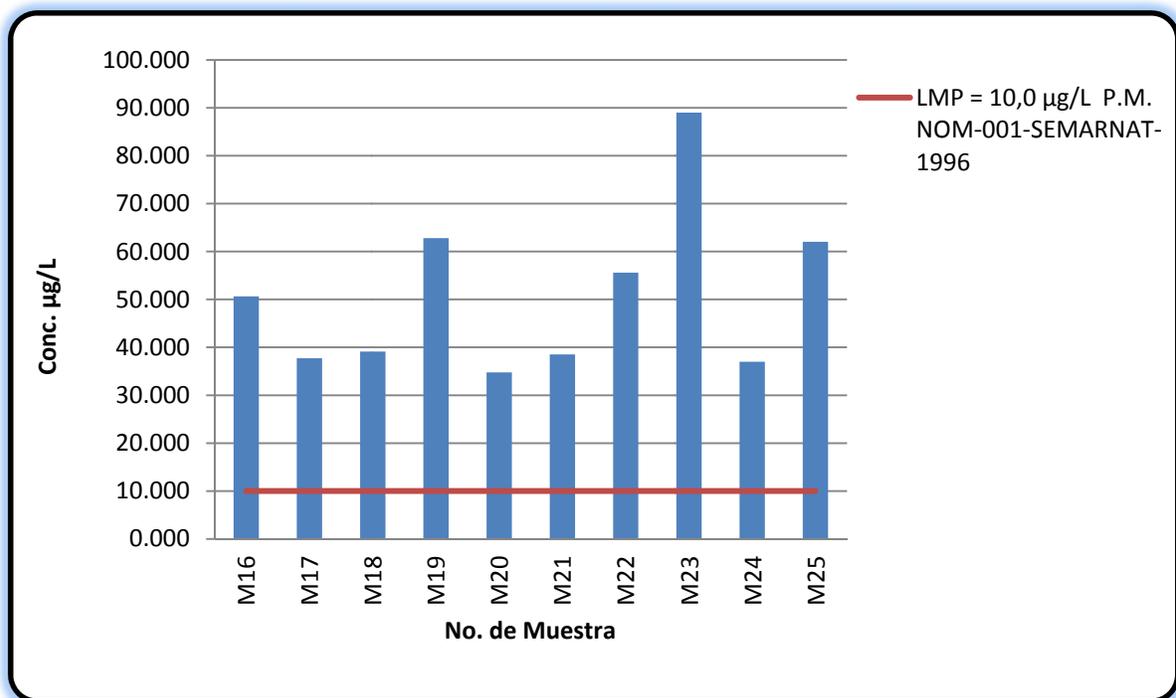


Figura 5.16. Concentraciones de Zinc en la esclusa II



Tabla 5.3. Concentración de Metales Pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F.

Esclusa III.

METALES PESADOS EN AGUA								
Metal	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Masa atómica	75	112	52	63	200	60	208	66
Concentración	µg/L							
Muestra								
M26	10,366	0.098	1,936	28,369	0.275	4,374	2,580	38,078
M27	10,440	0.098	1,932	19,545	0,305	5,169	1,905	71,672
M28	9,842	0.098	1,462	20,980	0.275	5,215	1,627	37,895
M29	9,921	0.098	8,892	27,614	0.275	6,140	2,544	136,176
M30	11,245	0.098	1,835	16,179	0.275	4,189	1,387	27,873
M31	11,087	0.098	2,497	21,527	0.275	6,342	2,940	133,456
M32	9,524	0.098	1,953	15,858	0.275	3,322	1,697	46,071
M33	7,973	0.098	0,296	8,211	0,357	2,010	1,210	36,444
M34	9,187	0.098	0,348	8,256	0,300	2,351	1,135	94,733
M35	9,708	0.098	0,883	8,965	0.275	2,704	1,405	84,335

- Reporte gráfico de la determinación de metales pesados en la esclusa III.

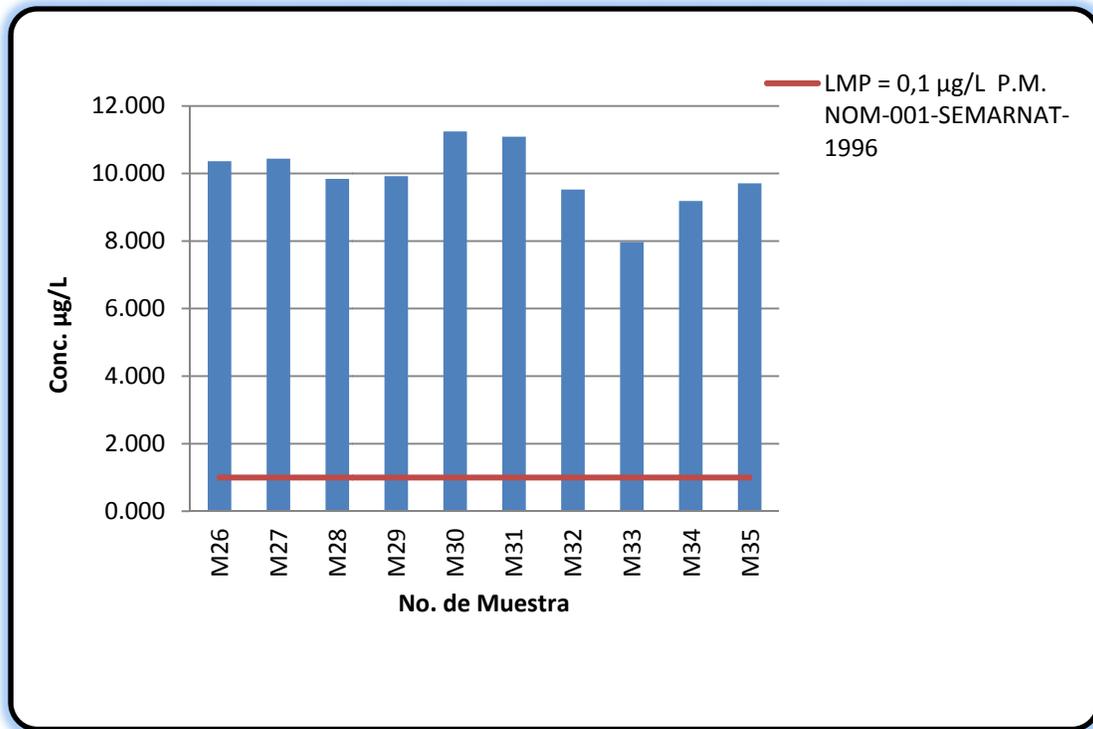


Figura 5.17. Concentraciones de Arsénico en la esclusa III

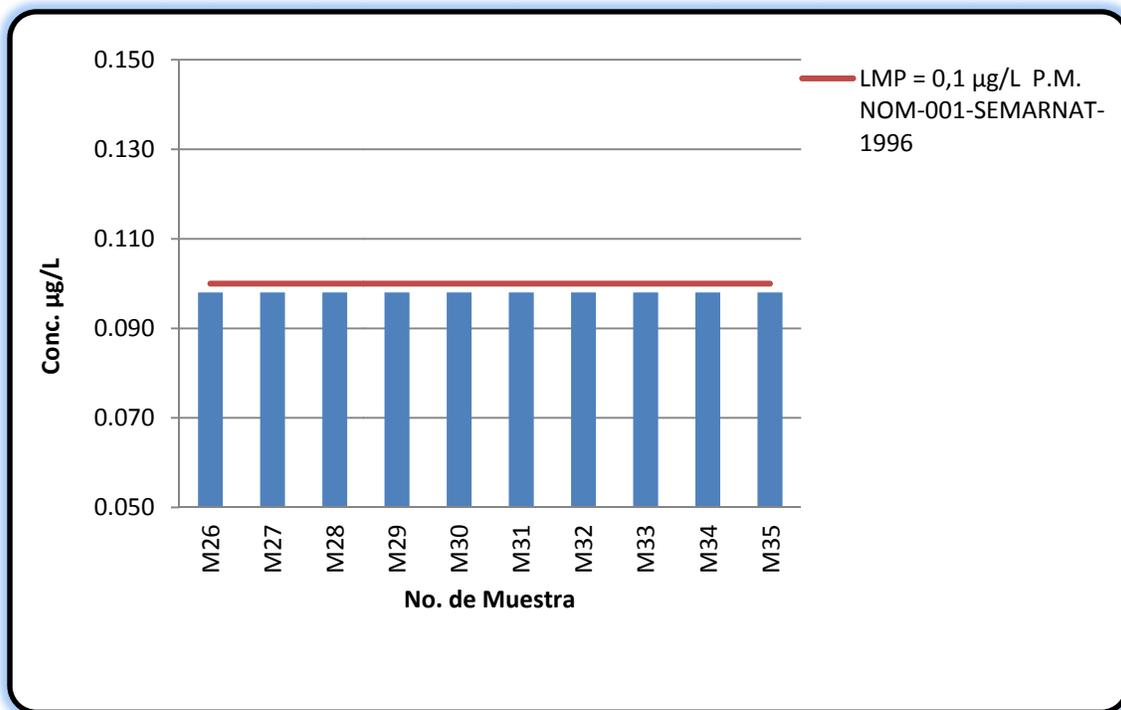


Figura 5.18. Concentraciones de Cadmio en la esclusa III

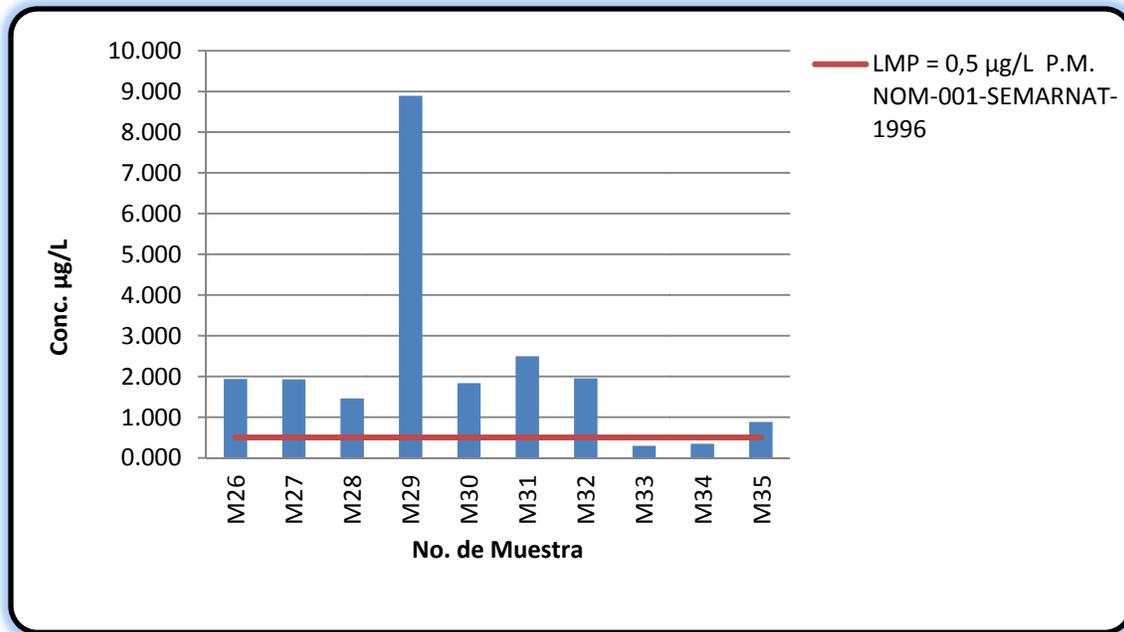


Figura 5.19. Concentraciones de Cromo en la esclusa III

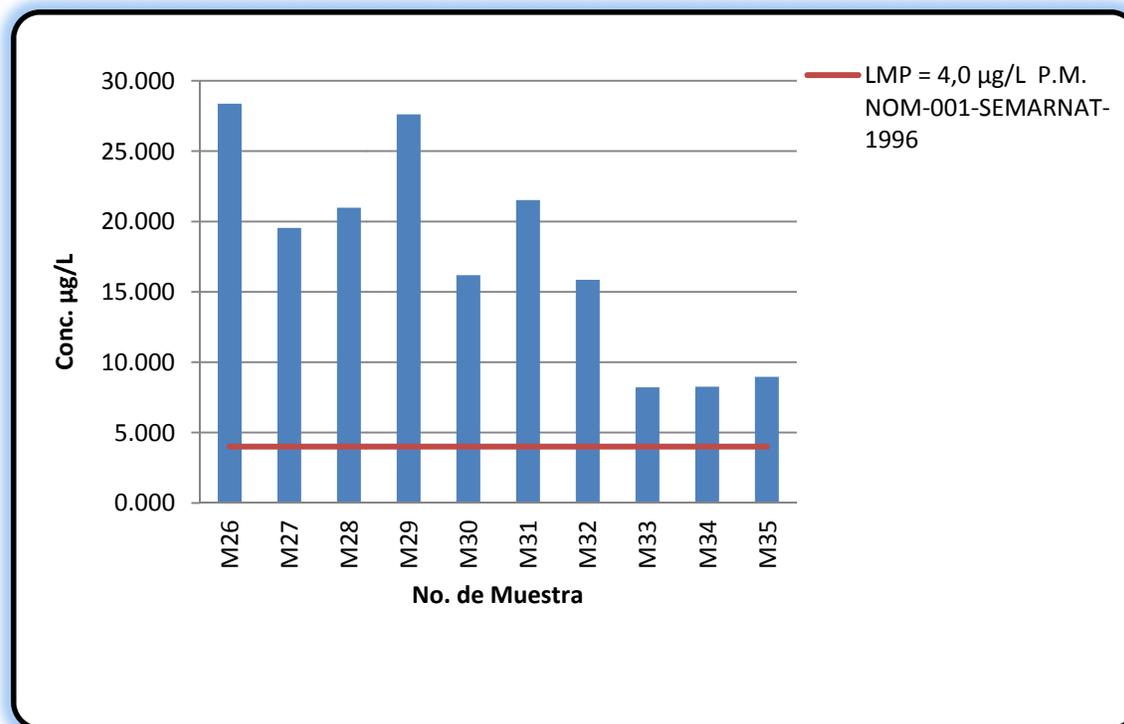


Figura 5.20. Concentraciones de Cobre en la esclusa III

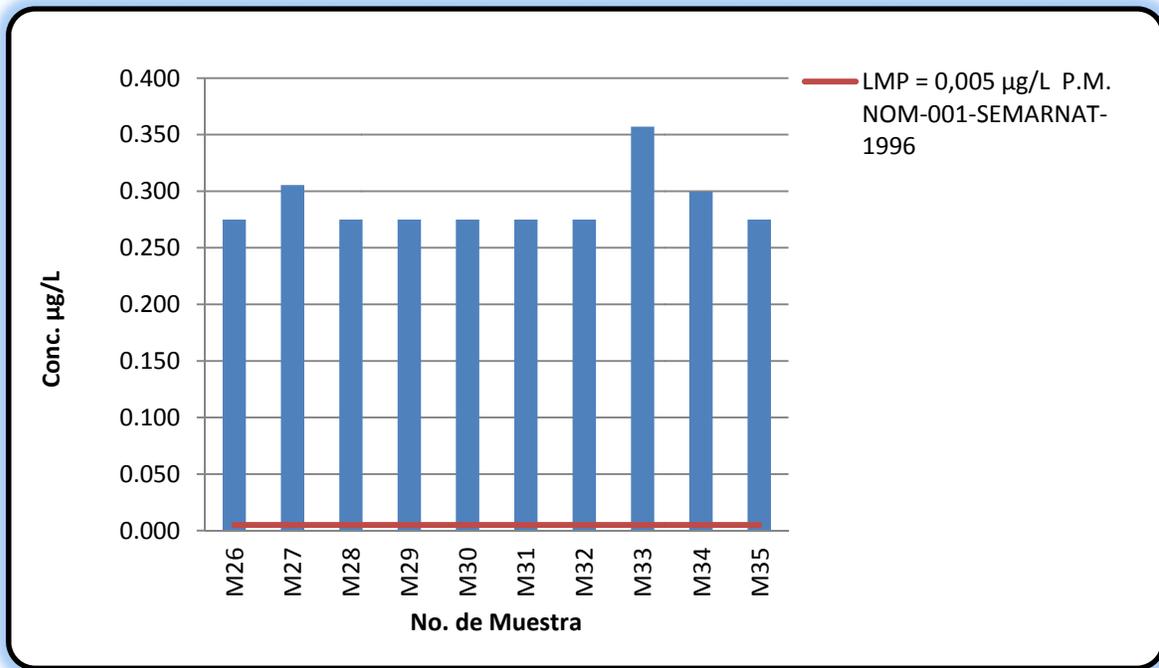


Figura 5.21. Concentraciones de Mercurio en la esclusa III

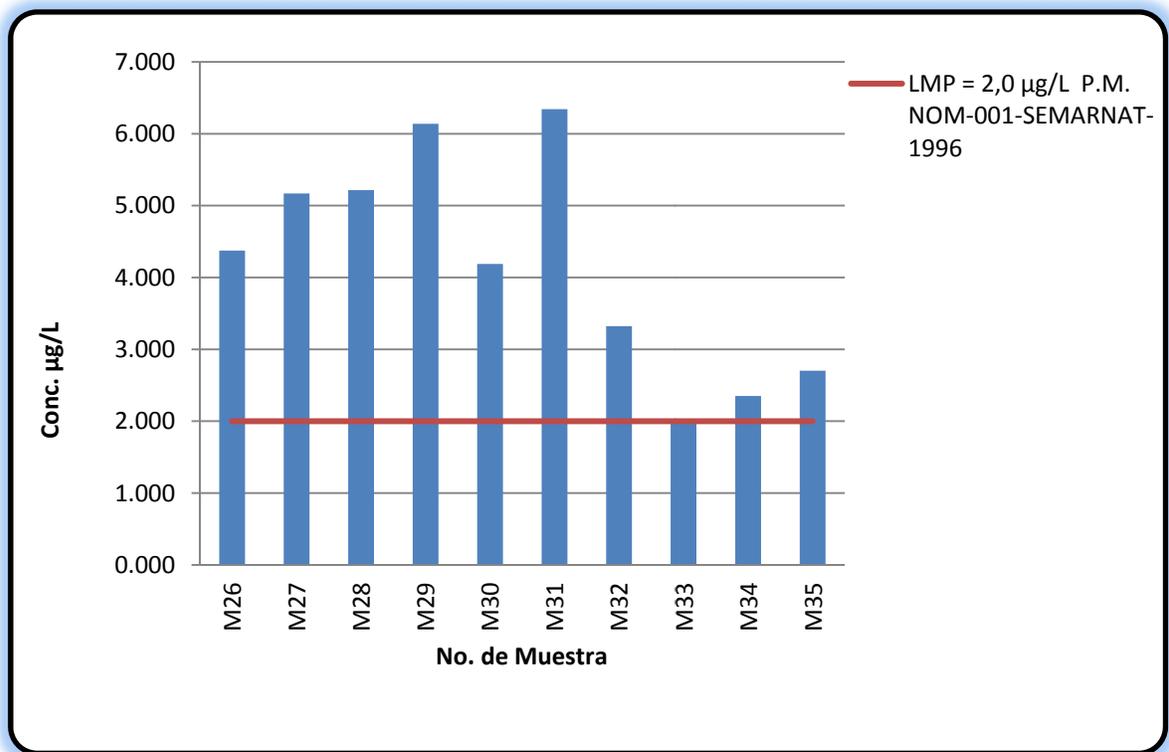


Figura 5.22. Concentraciones de Níquel en la esclusa III

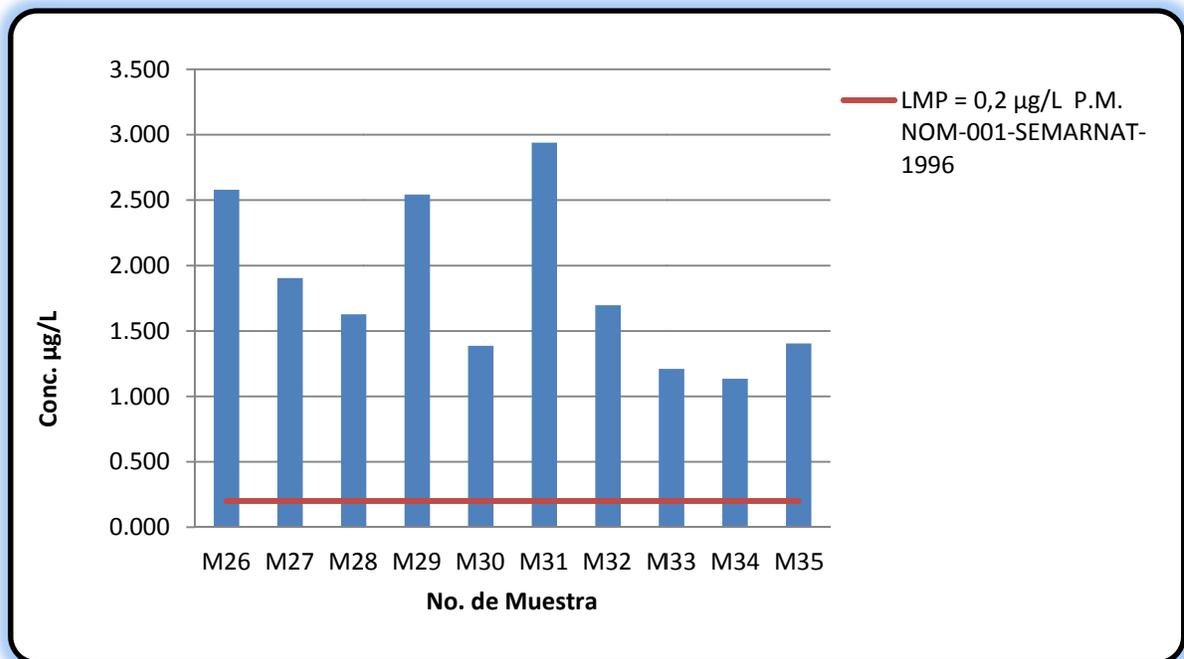


Figura 5.23. Concentraciones de Plomo en la esclusa III

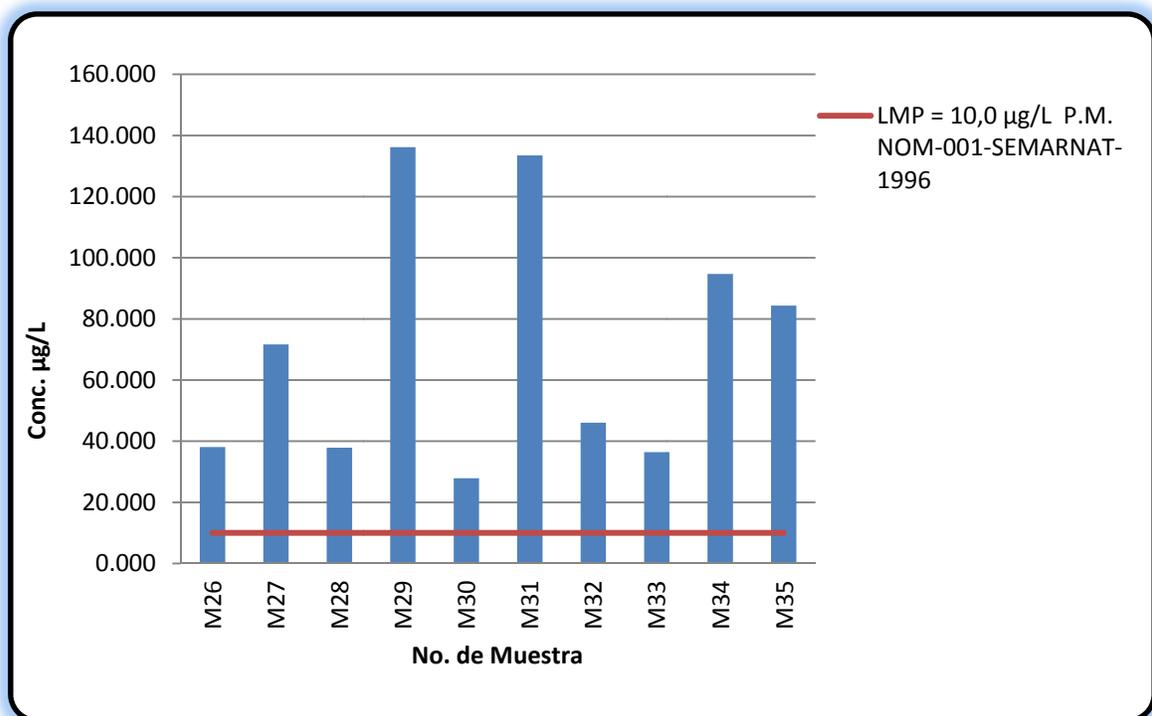


Figura 5.24. Concentraciones de Zinc en la esclusa III



Tabla 5.4. Concentración de Metales Pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F.

Esclusa IV.

METALES PESADOS EN AGUA								
Metal	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Masa atómica	75	112	52	63	200	60	208	66
Concentración	µg/L							
Muestra								
M36	9,955	0.098	0,802	12,540	0,298	4,528	3,621	43,893
M37	11,027	0.098	0,535	9,550	0.275	2,935	1,979	53,214
M38	10,822	0.098	0,358	8,684	0.275	2,455	1,506	23,550
M39	11,235	0.098	0,558	8,825	0.275	2,753	2,091	50,734
M40	9,877	0.098	0,429	9,215	0.275	2,513	2,473	28,615
M41	11,125	0.098	0,425	7,176	0.275	2,600	1,371	23,259
M42	10,999	0.098	0,758	9,336	0,405	3,038	2,009	47,257
M43	10,760	0.098	0,553	14,805	0,292	2,625	2,150	33,125
M44	11,931	0.098	1,898	9,575	0,347	3,648	3,317	54,484
M45	9,451	0.098	0,281	7,978	0,458	2,379	1,326	39,687
M46	10,946	0.098	0,732	8,467	0,290	3,137	1,942	195,598
M47	10,465	0.098	0,272	7,584	0.275	2,741	1,439	62,094
M48	11,874	0.098	0,446	7,622	0.275	3,081	1,421	24,113
M49	11,099	0.098	0,272	8,626	0.275	2,752	1,450	31,491
M50	11,075	0.098	0,395	7,888	0.275	2,751	1,278	21,212

- Reporte gráfico de la determinación de metales pesados en la esclusa IV.

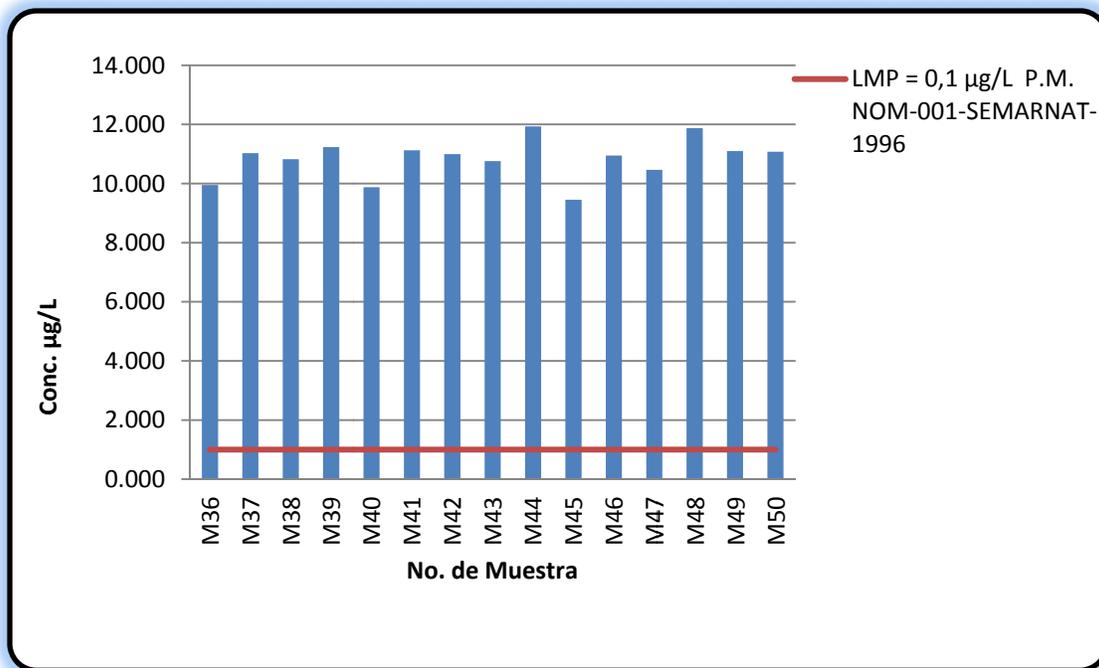


Figura 5.25. Concentraciones de Arsénico en la esclusa IV

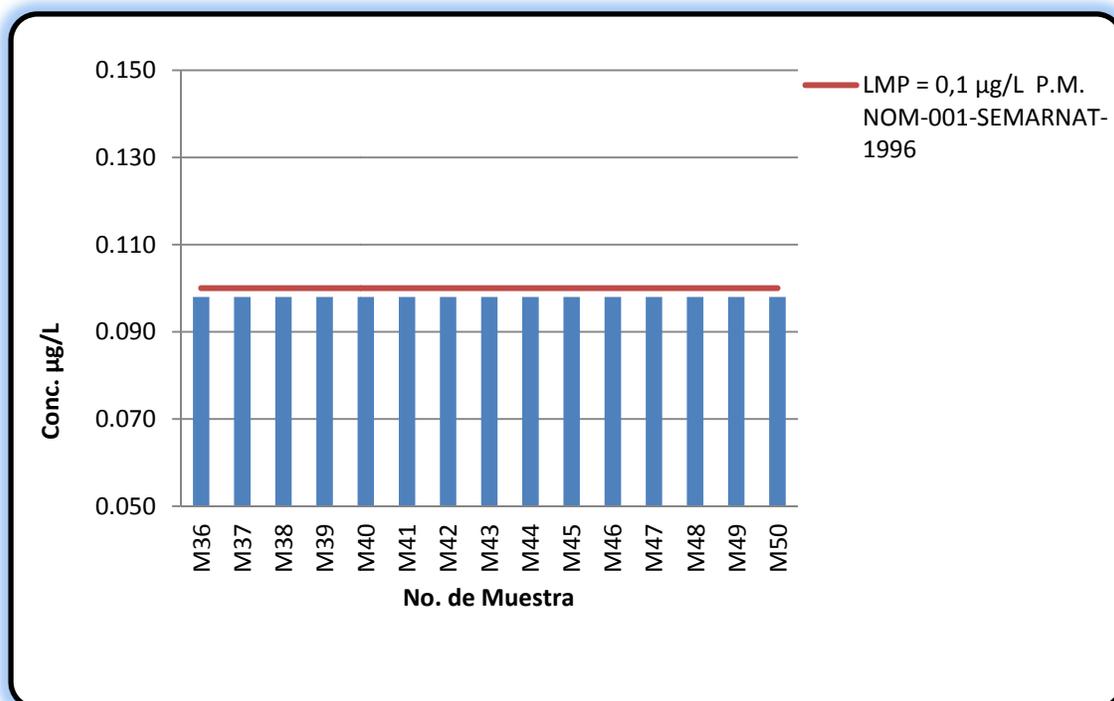


Figura 5.26. Concentraciones de Cadmio en la esclusa IV

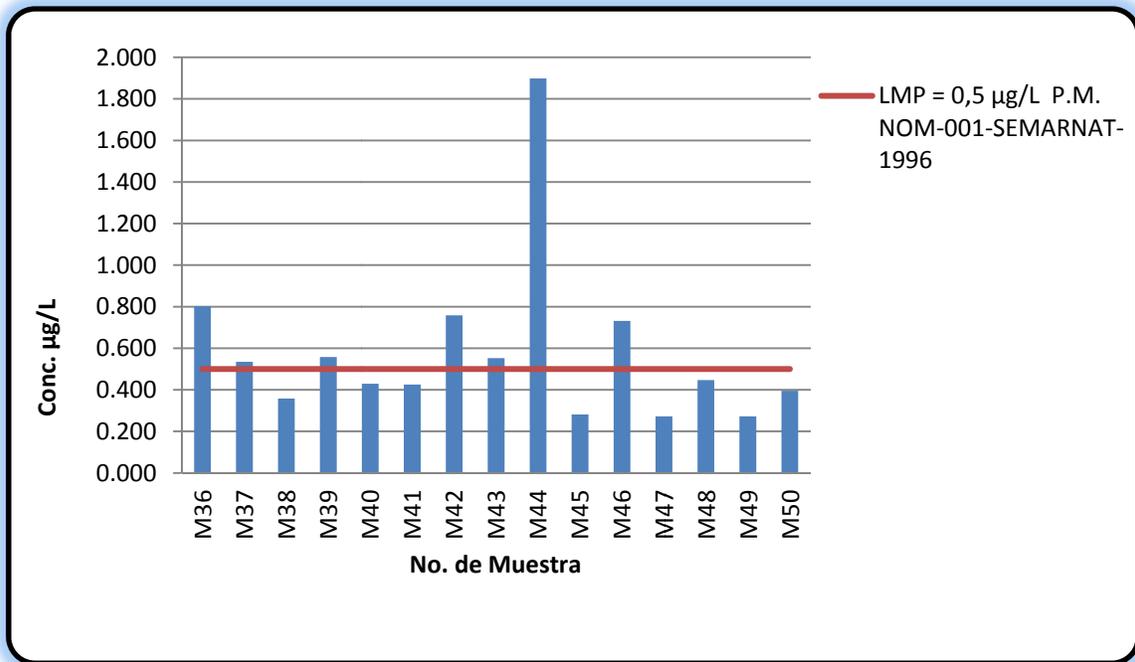


Figura 5.27. Concentraciones de Cromo en la esclusa IV

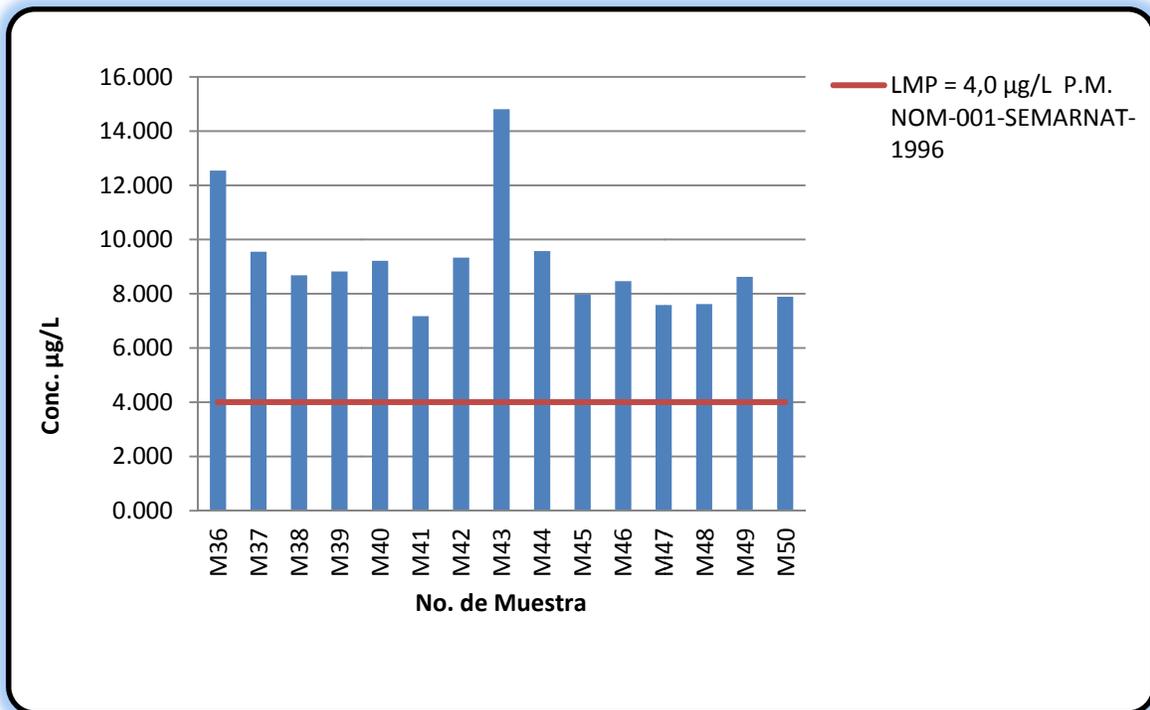


Figura 5.28. Concentraciones de Cobre en la esclusa IV

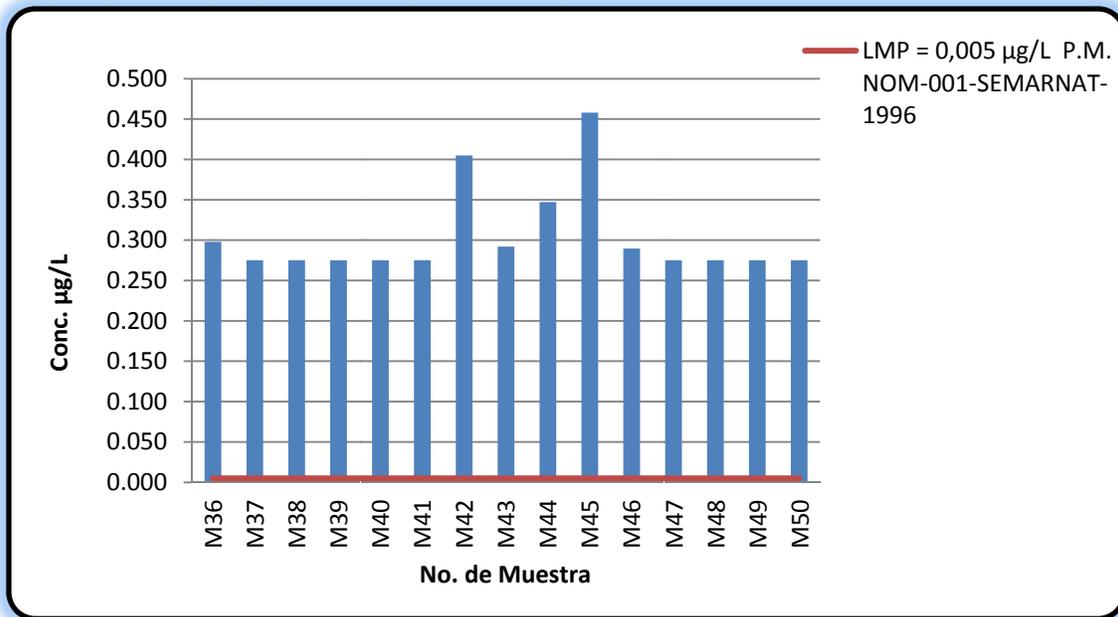


Figura 5.29. Concentraciones de Mercurio en la esclusa IV

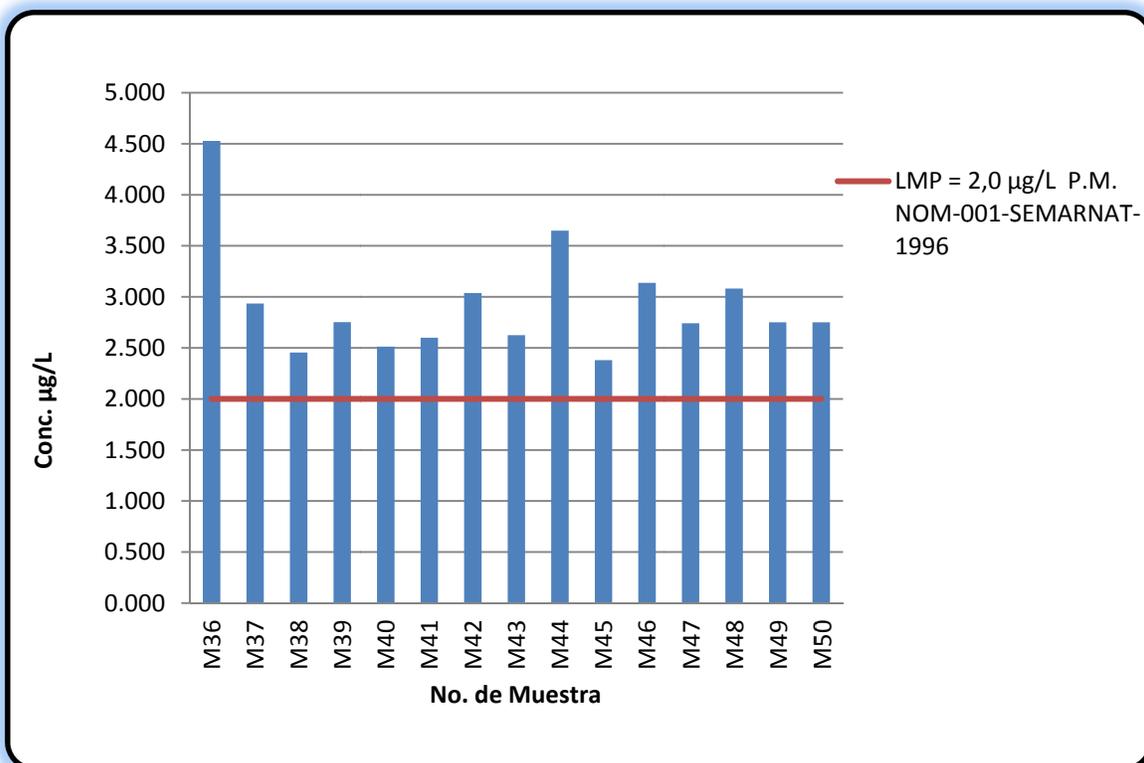


Figura 5.30. Concentraciones de Níquel en la esclusa IV

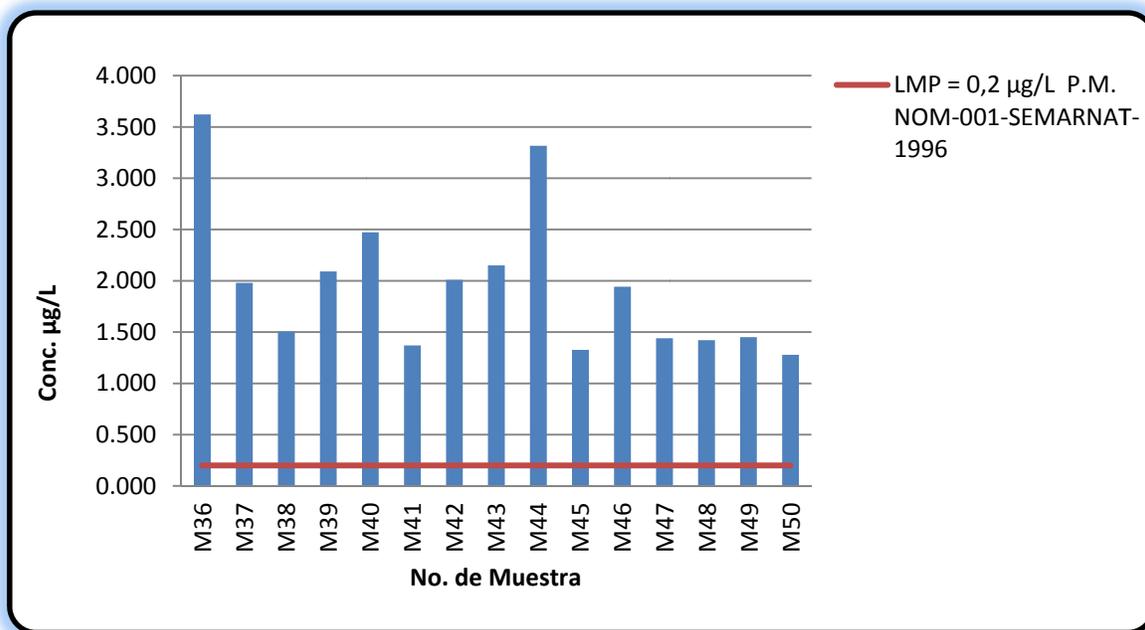


Figura 5.31. Concentraciones de Plomo en la esclusa IV

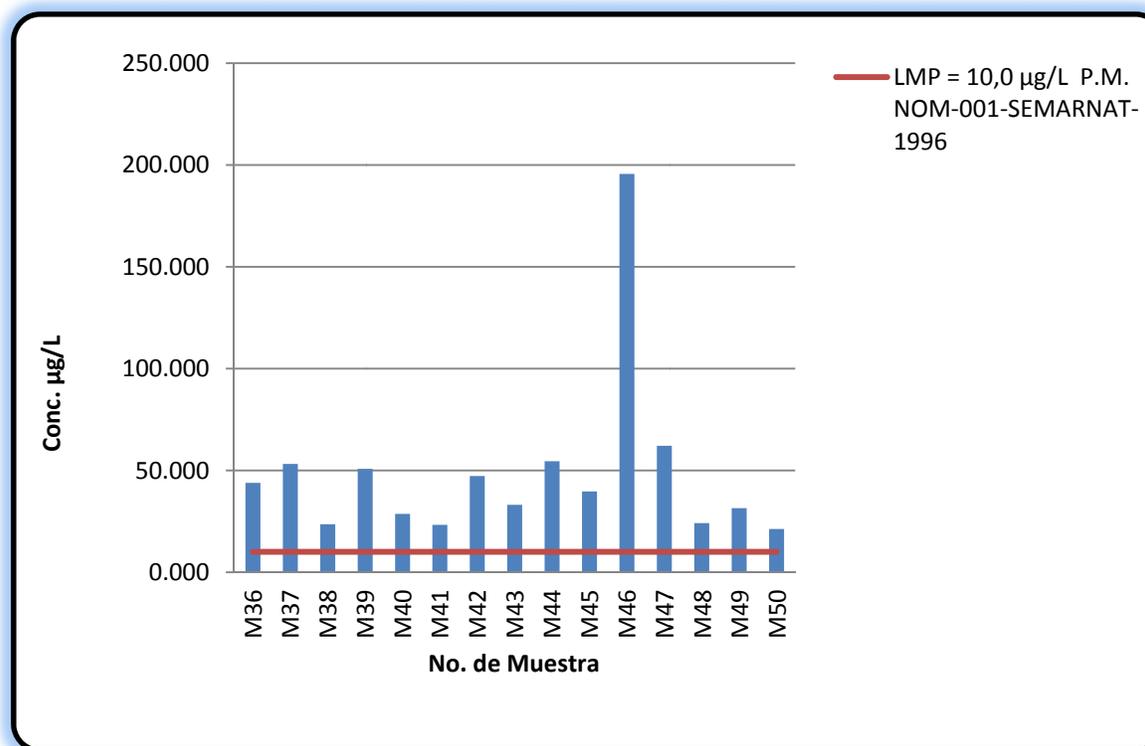


Figura 5.32. Concentraciones de Zinc en la esclusa IV



Tabla 5.5. Concentración de Metales Pesados presentes en el Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente D.F.

Esclusa V.

METALES PESADOS EN AGUA								
Metal	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Masa atómica	75	112	52	63	200	60	208	66
Concentración	µg/L							
Muestra								
M51	14,764	0.098	0,511	7,832	0.275	3,373	1,330	24,210
M52	15,524	0.098	4,061	8,975	0,292	3,387	1,904	42,704
M53	14,707	0.098	0,429	7,485	0,294	3,273	1,427	31,345
M54	16,287	0.098	0,596	8,351	0.275	4,645	1,224	40,396
M55	15,864	0.098	0,575	8,341	0,296	5,097	1,760	22,739
M56	13,945	0.098	0,361	7,627	0,354	2,913	1,630	32,766
M57	11,650	0.098	0,233	7,780	0.275	2,307	2,110	17,362
M58	12,244	0,144	1,633	8,391	0,301	3,779	4,504	70,653
M59	11,932	0.098	0,519	7,531	0,302	2,710	1,389	10,459
M60	12,191	0.098	0,826	13,688	0.275	2,930	1,541	16,596

- Reporte gráfico de la determinación de metales pesados en la esclusa V.

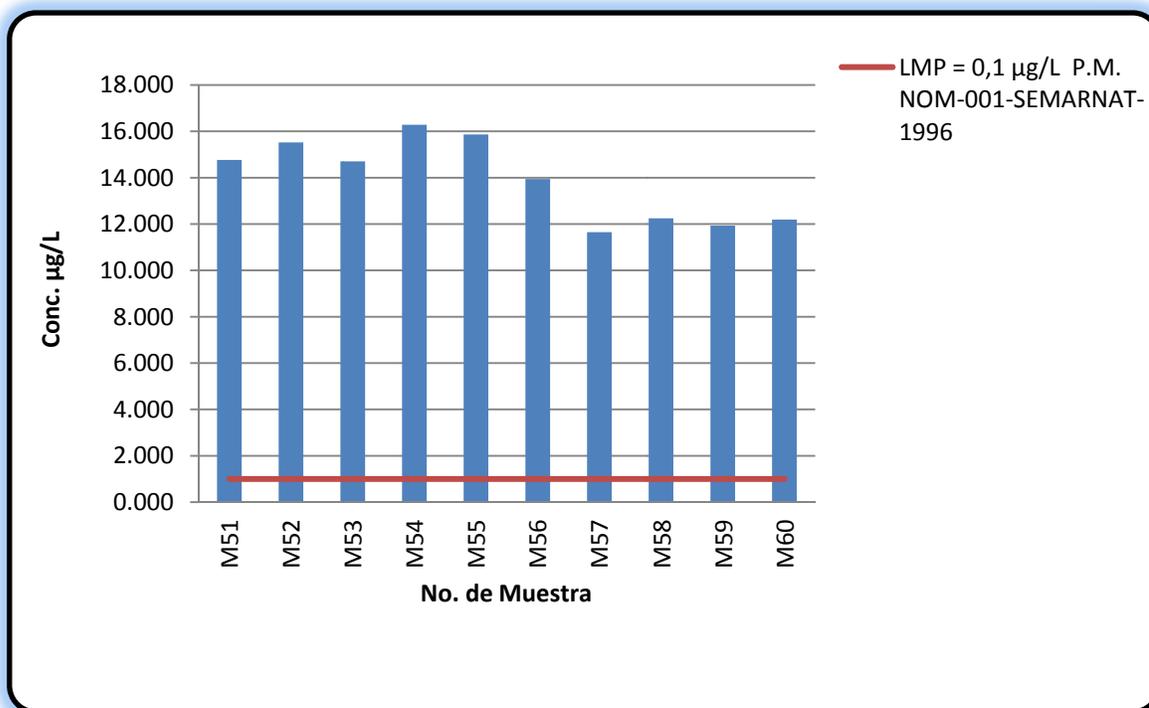


Figura 5.33. Concentraciones de Arsénico en la esclusa V

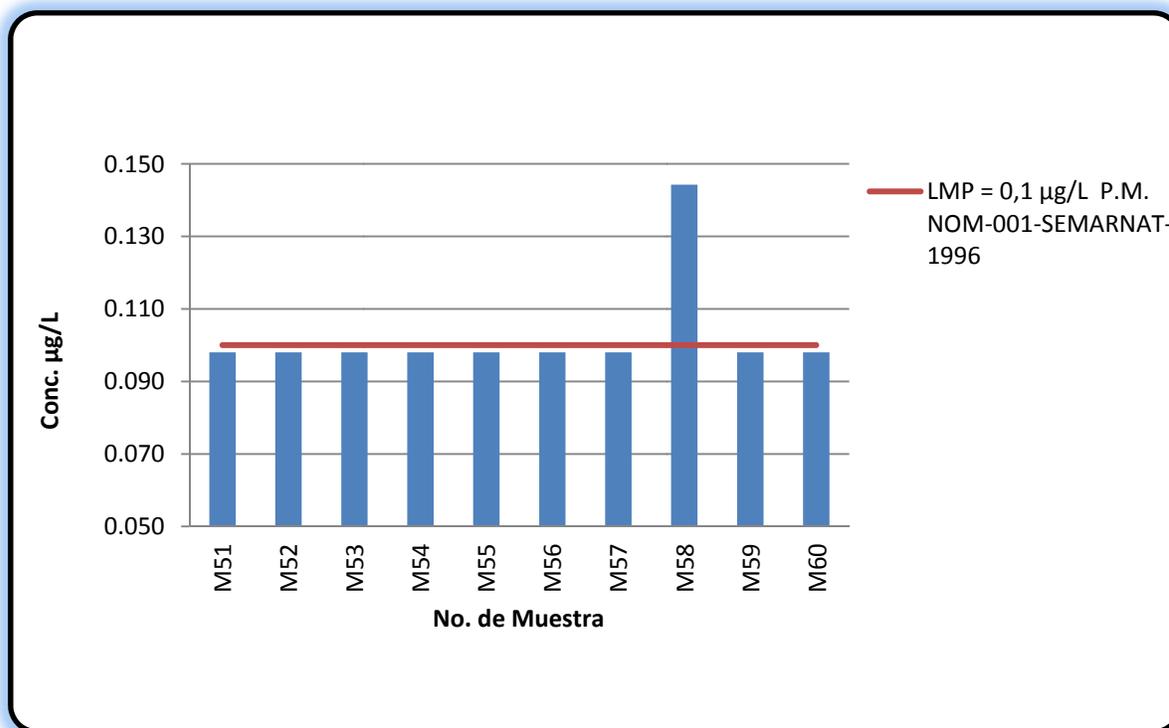


Figura 5.34. Concentraciones de Cadmio en la esclusa V

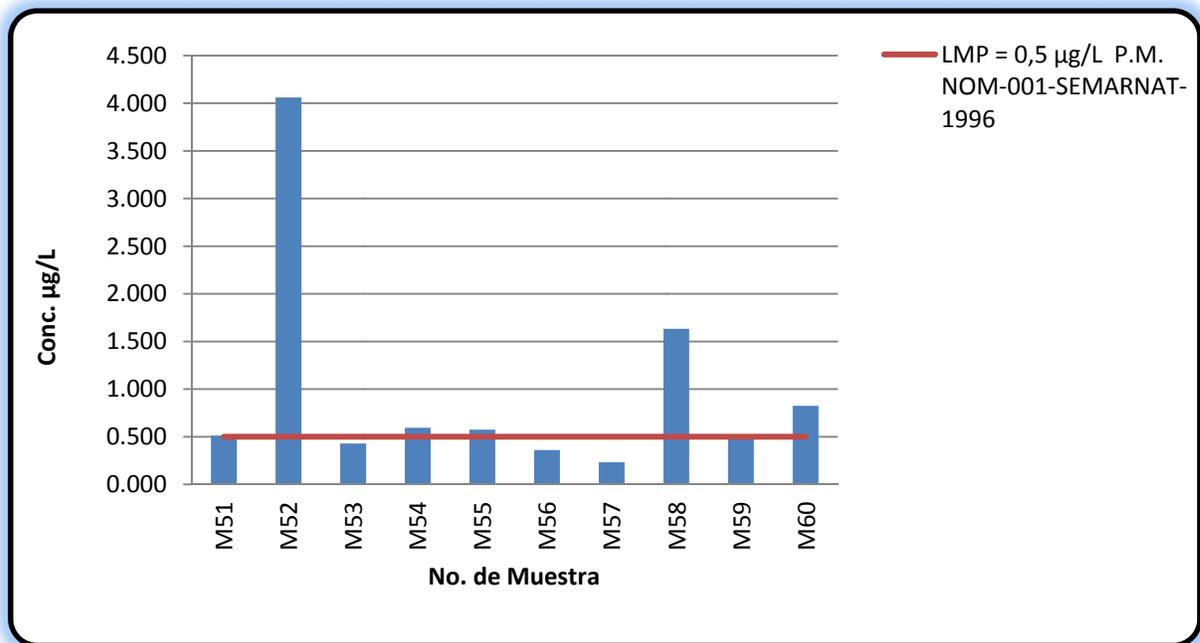


Figura 5.35. Concentraciones de Cromo en la esclusa V

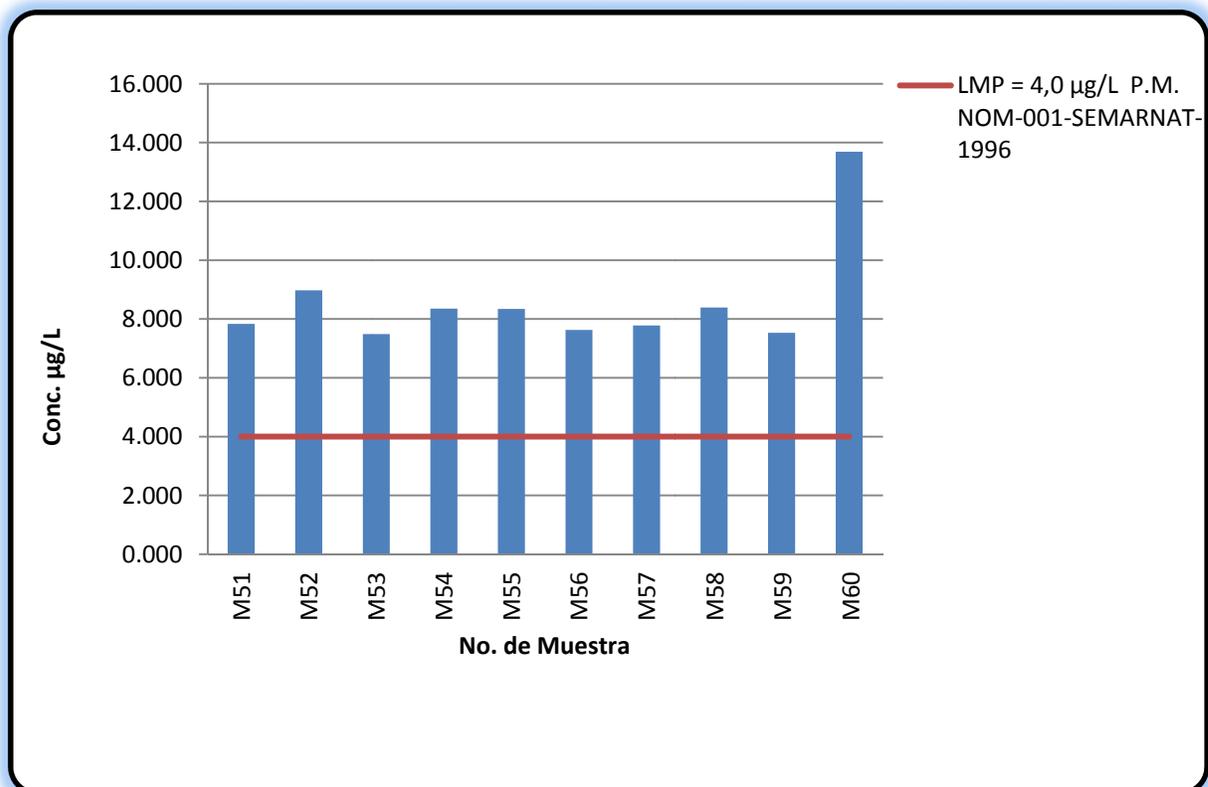


Figura 5.36. Concentraciones de Cobre en la esclusa V

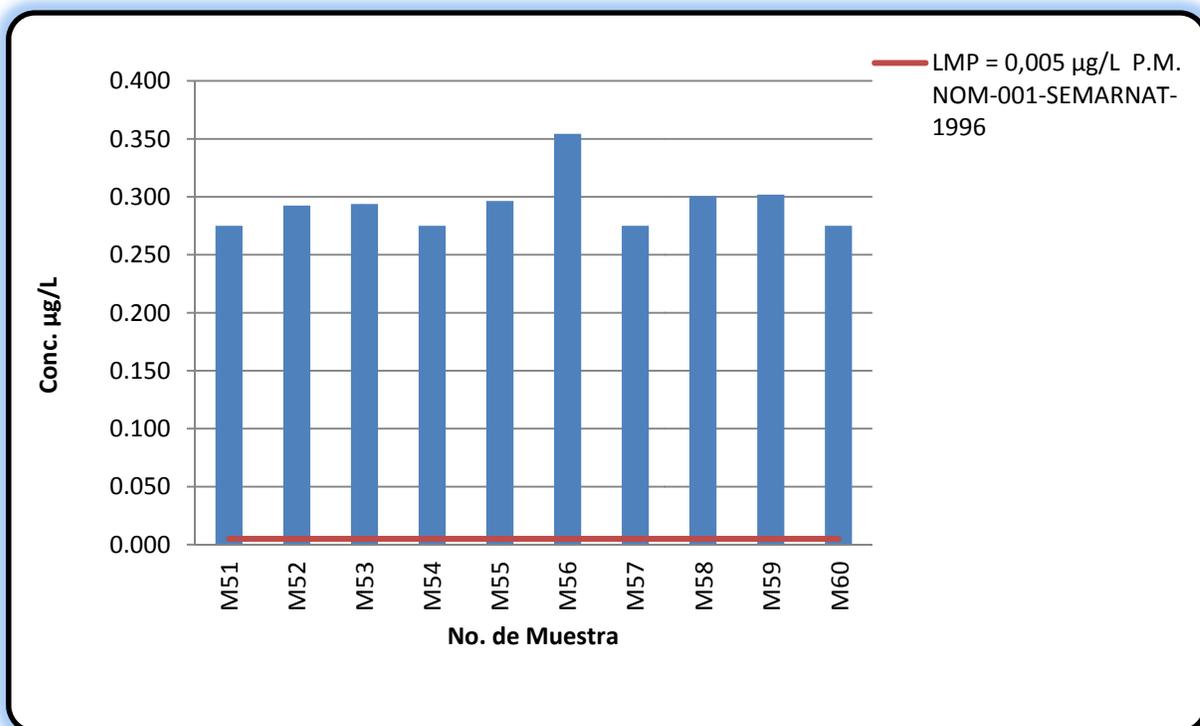


Figura 5.37. Concentraciones de Mercurio en la esclusa V

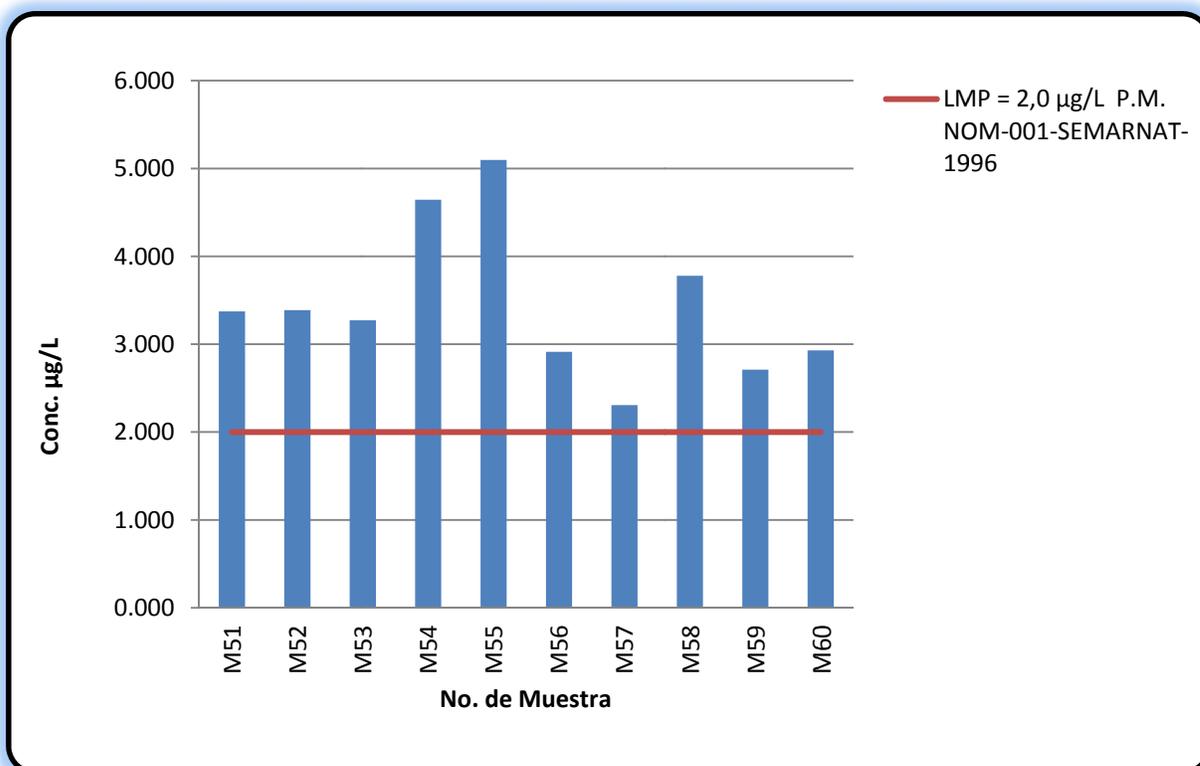


Figura 5.38. Concentraciones de Níquel en la esclusa V

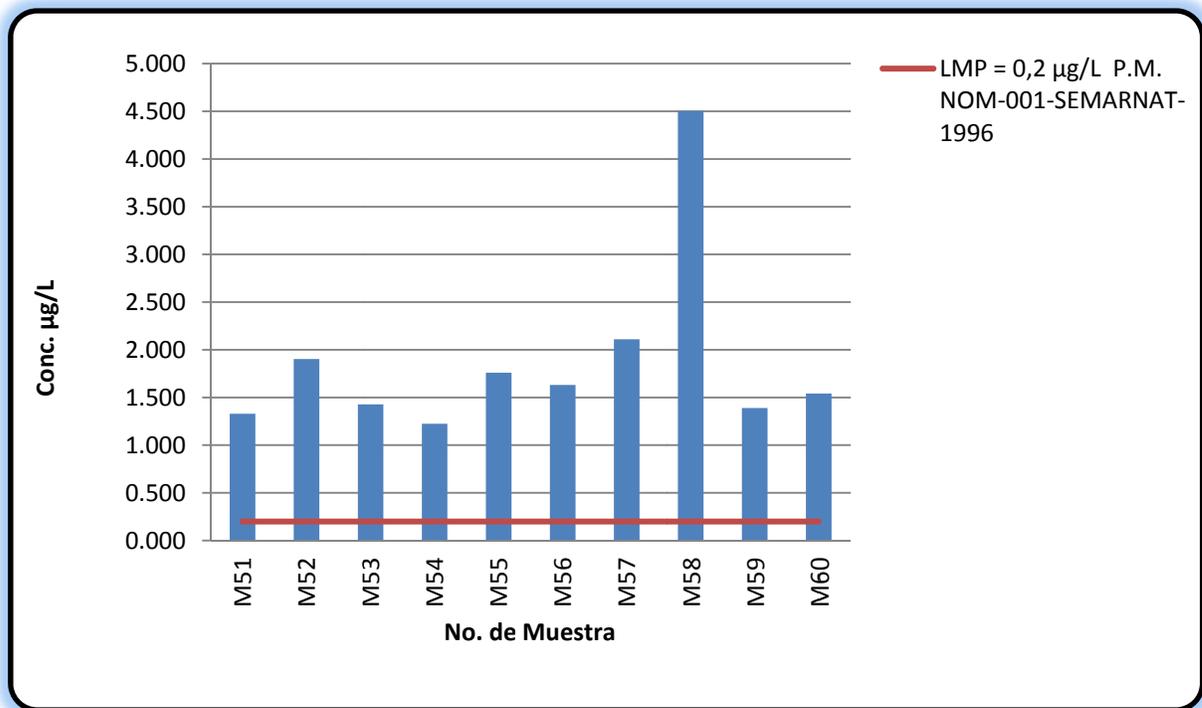


Figura 5.39. Concentraciones de Plomo en la esclusa V

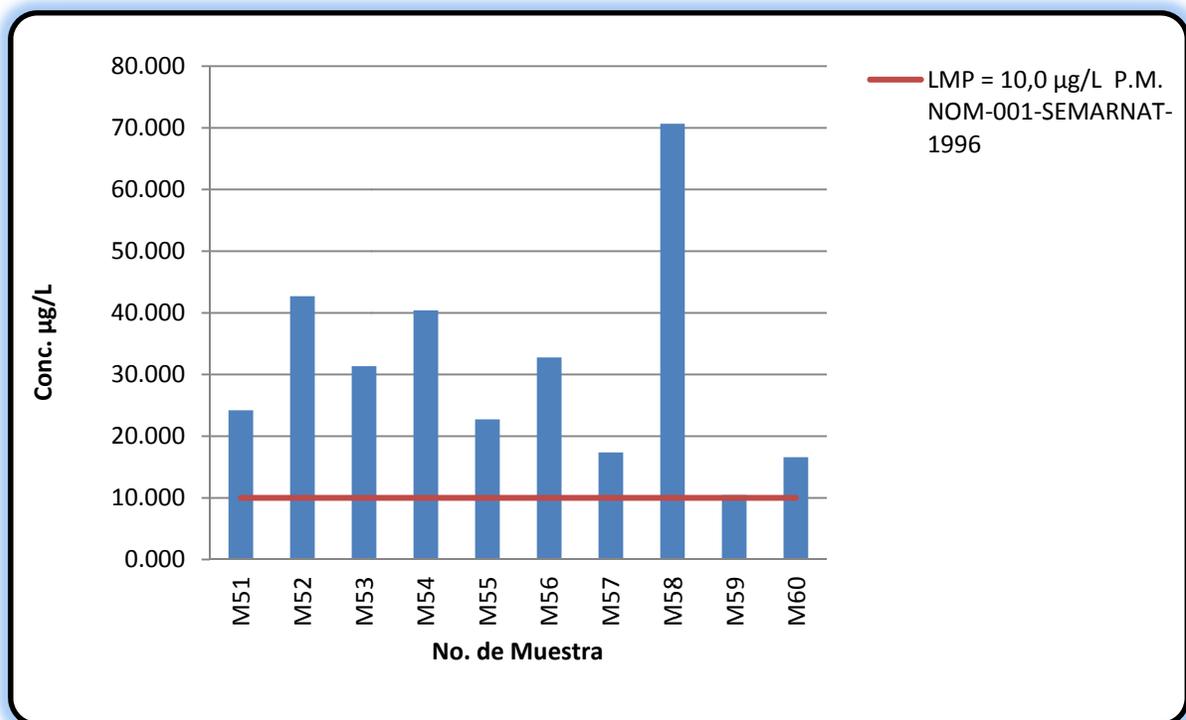


Figura 5.40. Concentraciones de Zinc en la esclusa V



5.2 Evaluación de los Resultados.

Tabla 5.6 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	
	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	0.1	0.2	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	0.1	0.2	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	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996

(*) = Medidos de manera total.

P.D. = Promedio diario

P.M. = Promedio mensual

En las gráficas de resultados, se observa que en el 87.5% de las muestras analizadas se rebasa el Límites Máximos Permisibles (LMP) para el Arsénico, Cromo, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc en la mayoría de las muestras analizadas.

Solo en el caso del Cadmio, las muestras resultaron estar por debajo de las concentraciones permisibles.



Todas las concentraciones obtenidas de los metales pesados en las muestras de agua del Lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, D. F.; fueron comparadas con los Límites Máximos Permisibles, para metales totales en lagos naturales y artificiales que rige la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Tabla 5.6), en cuanto a su toxicidad se comparo con los Límites Máximos Permisibles en vida acuática de agua dulce que sugiere la USEPA mencionados en el Capitulo 2 de este estudio.

Las aportaciones de metales pesados probablemente provengan en una proporción considerable del Lago de San Juan de Aragón que presenta el mismo problema y que además abastece de agua al Lago del Parque Alameda Oriente; otro factor que aporta en gran medida es el material sólido que los visitantes desechan dentro del lago y sus alrededores.

5.3 Análisis para cada metal pesado.

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 en todas las muestras, la aportación de arsénico se debe al llenado de este cuerpo de agua con agua proveniente del Lago de San Juan de Aragón y a la utilización de plaguicidas y fertilizantes en sus alrededores donde hay plantas y árboles. Ahora 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 la muestra 58 rebaso la norma. 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.

Cromo. La NOM-001-SEMARNAT-1996 nos indica que el LMP para el cromo es de $0.5\mu\text{g/L}$, los resultados obtenidos nos muestran que en la esclusa I, II y III se rebasan estos límites; para el caso de las esclusas IV y V no en todos los puntos analizados presentaron altas concentraciones, la menor concentración que se reporta es de $0.233\mu\text{g/L}$ en la



muestra 57, 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.

Cobre. Todas las muestras de cobre resultaron estar fuera del límite máximo permisible que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de $4.0\mu\text{g/L}$. No se compararon valores de toxicidad para cobre ya que no se encontraron los LMP de la USEPA.

Mercurio. Como se puede observar todas las concentraciones de mercurio rebasan y por mucho el límite máximo permisible que es $0.005\mu\text{g/L}$ según la NOM-001-SEMARNAT-1996, en cuanto a la toxicidad que la USEPA establece de $1.1\mu\text{g/L}$ las muestras se encuentran dentro del límite permisible.

Níquel. El 92% de las muestras 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 20 ubicada en la esclusa II con $1.789\mu\text{g/L}$ 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 Alameda Oriente 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 $200\mu\text{g/L}$.

Zinc. Comparando el límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para el zinc que es de $10\mu\text{g/L}$ con las concentraciones de las muestras, todas están por encima. No se compararon valores de toxicidad para zinc ya que no se encontraron los LMP de la USEPA.



5.4 Aplicación del Surfer 8.

En las figuras 5.41, 5.42, 5.43, 5.44, 5.45, 5.46, 5.47 y 5.48 que se hicieron mediante la simulación con el programa Surfer 8 se aprecia que las zonas más oscuras se presenta la mayor concentración de metales pesados para cada metal y viceversa las zonas más claras es donde existe la menor concentración para cada metal.



Arsénico.

En el grafico se observa que las menores concentraciones de arsénico se presentan en la esclusa I y presentándose de forma ascendente la mayor concentración en la esclusa V. (Figura 5.41).

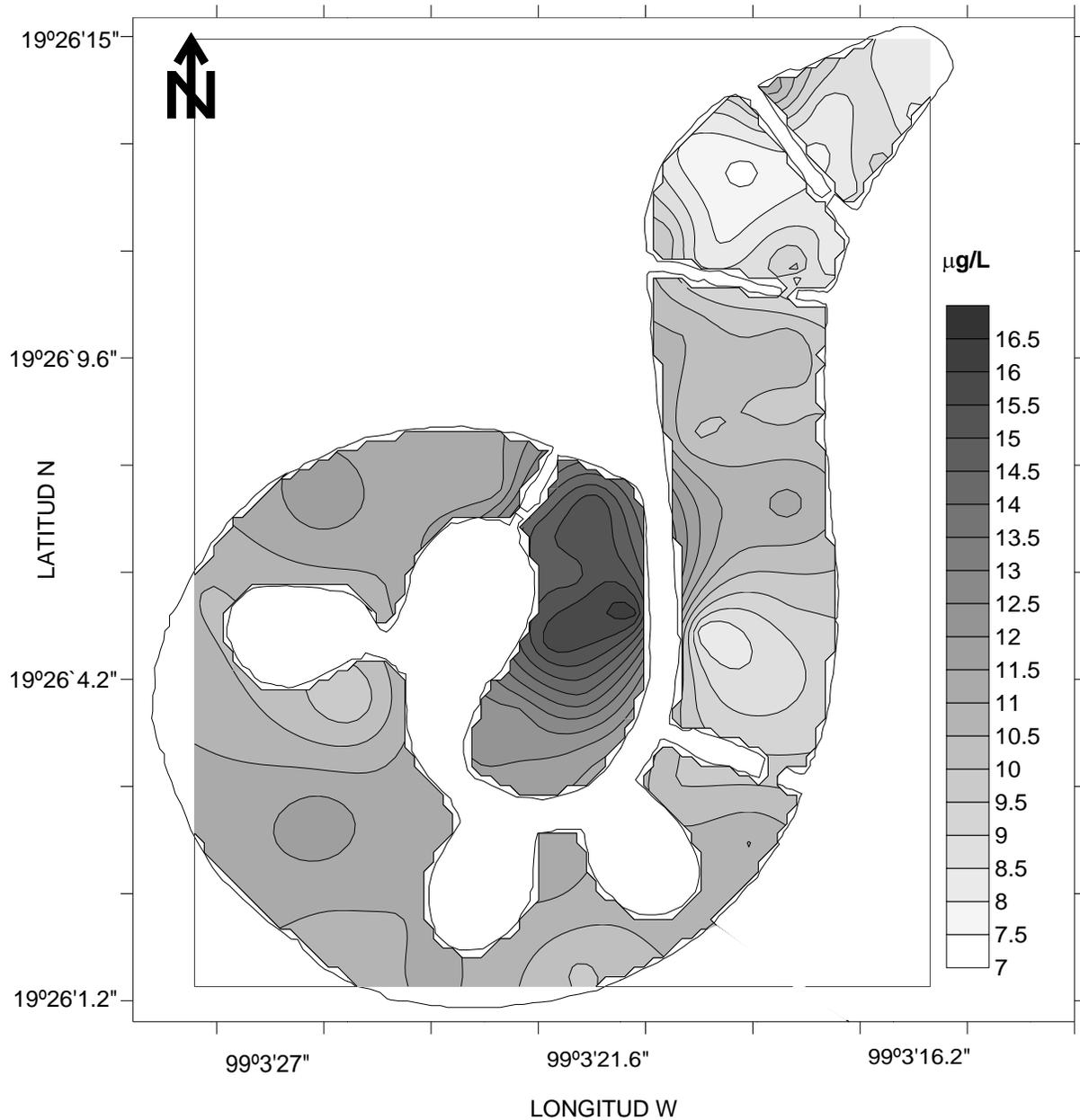


Figura 5.41. Distribución de concentraciones de arsénico en lago del Parque Ecológico Alameda Oriente, D.F.



Cadmio.

Para el caso del cadmio se observa claramente un comportamiento homogéneo en la mayoría de las esclusas en las cuales no se rebasa el límite máximo permisible, según la norma 001 de la SEMARNAT, presentándose únicamente un incremento de la concentración en la muestra 58 que se encuentra ubicada en la esclusa V (Figura 5.42).

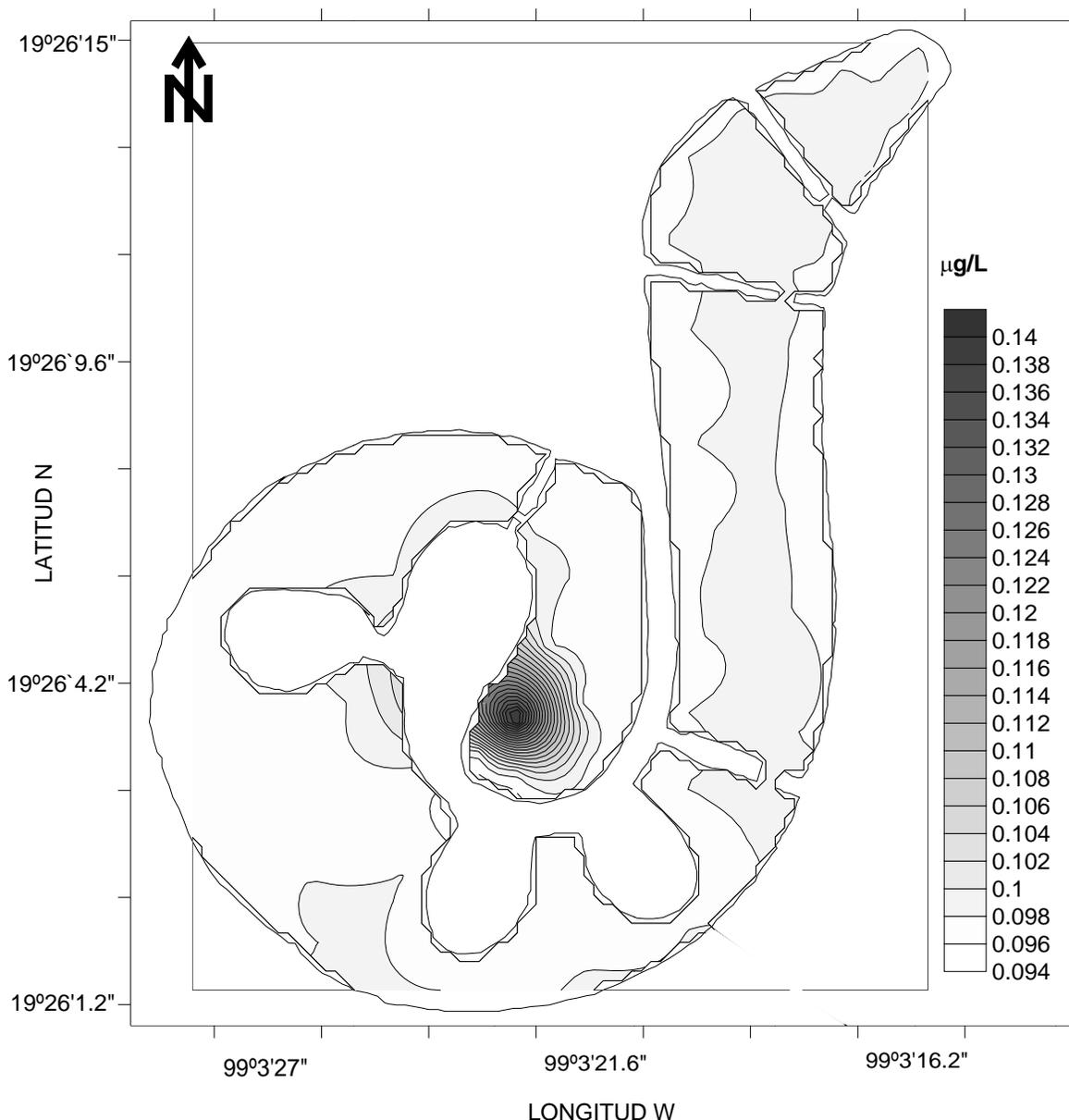


Figura 5.42. Distribución de concentraciones de cadmio en lago del Parque Alameda Oriente.



Cromo.

Como se puede observar en la Figura 5.43; para el caso del cromo la mayor concentración se encuentra en la esclusa III, presentándose una disminución de este metal en la esclusa IV y aumentando solo en un pequeño sector de la esclusa V.

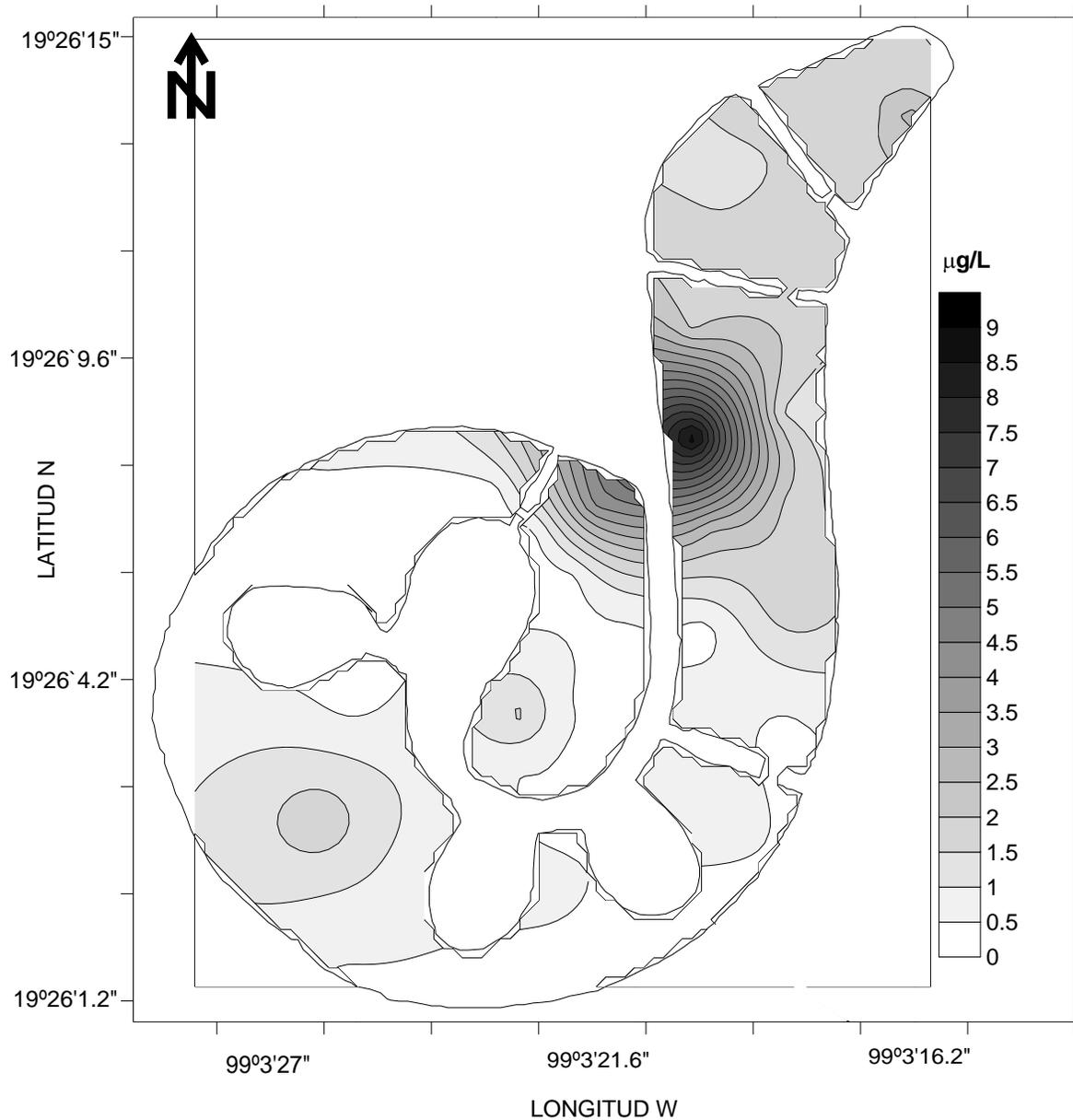


Figura 5.43. Distribución de concentraciones de cromo en Lago del Parque Alameda Oriente.



Cobre.

Las mayores concentraciones de cobre se presentan en las esclusas I, II, y III las cuales son utilizadas como reserva de aves migratorias y locales, lo cual presenta un serio problema de contaminación. Las concentraciones más bajas se encuentran en las esclusas IV y V en las cuales se llevan actividades de recreación para los visitantes del parque (Figura 5.44).

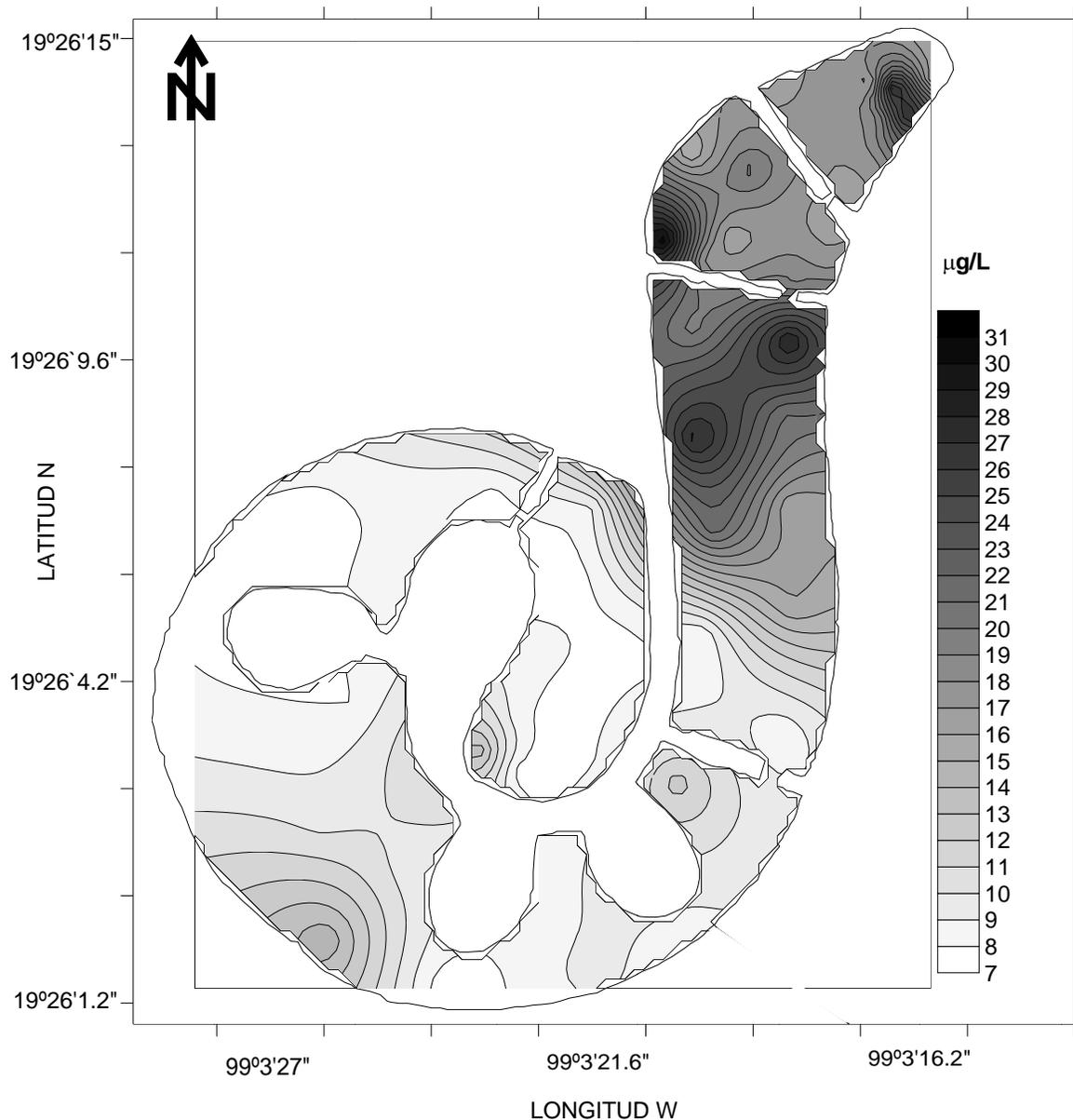


Figura 5.44. Distribución de concentraciones de cobre en Lago del Parque Alameda Oriente.



Mercurio.

En el grafico (Figura 5.45) se observa que el mercurio se presenta en mayor concentración en las esclusas I, II y IV; esto se debe a la posible aportación de los visitantes al parque que suelen arrojar pilas al lago; en las esclusas III y V existe una menor concentración de dicho metal.

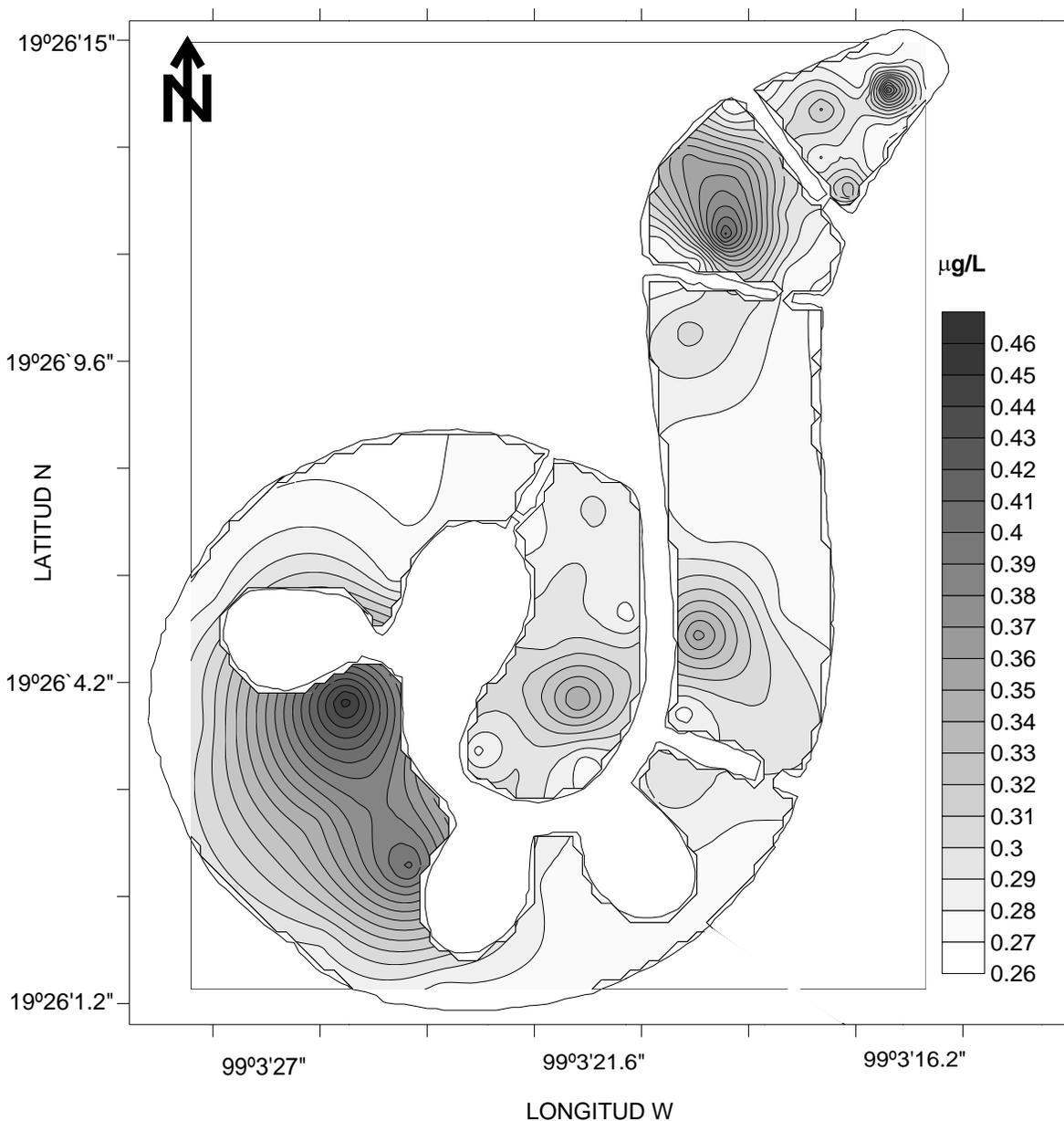


Figura 5.45. Distribución de concentraciones de Mercurio en Lago del Parque Alameda Oriente.



Níquel.

La mayor concentración de níquel se encuentra en la esclusa I, seguida en la esclusa III y II en ese orden respectivamente y reduciendo su concentración en las esclusas IV y V (Figura 5.46).

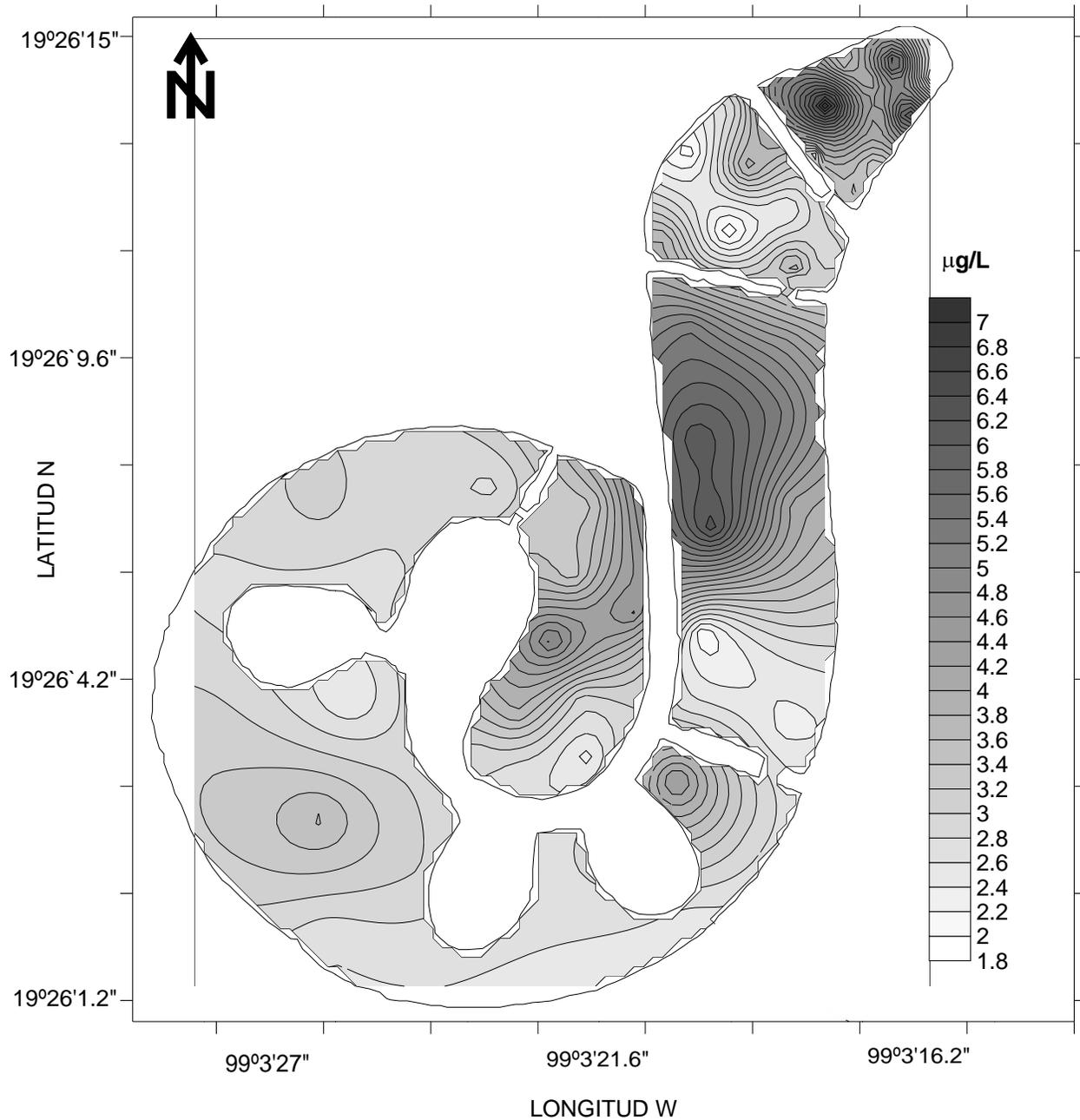


Figura 5.46. Distribución de concentraciones de Níquel en Lago del Parque Alameda Oriente.



Plomo.

En el grafico se observa que la mayor concentración de plomo se encuentra en la zona noroeste del la esclusa I y II, disminuyendo en las esclusas III, IV y V respectivamente (Figura 5.47).

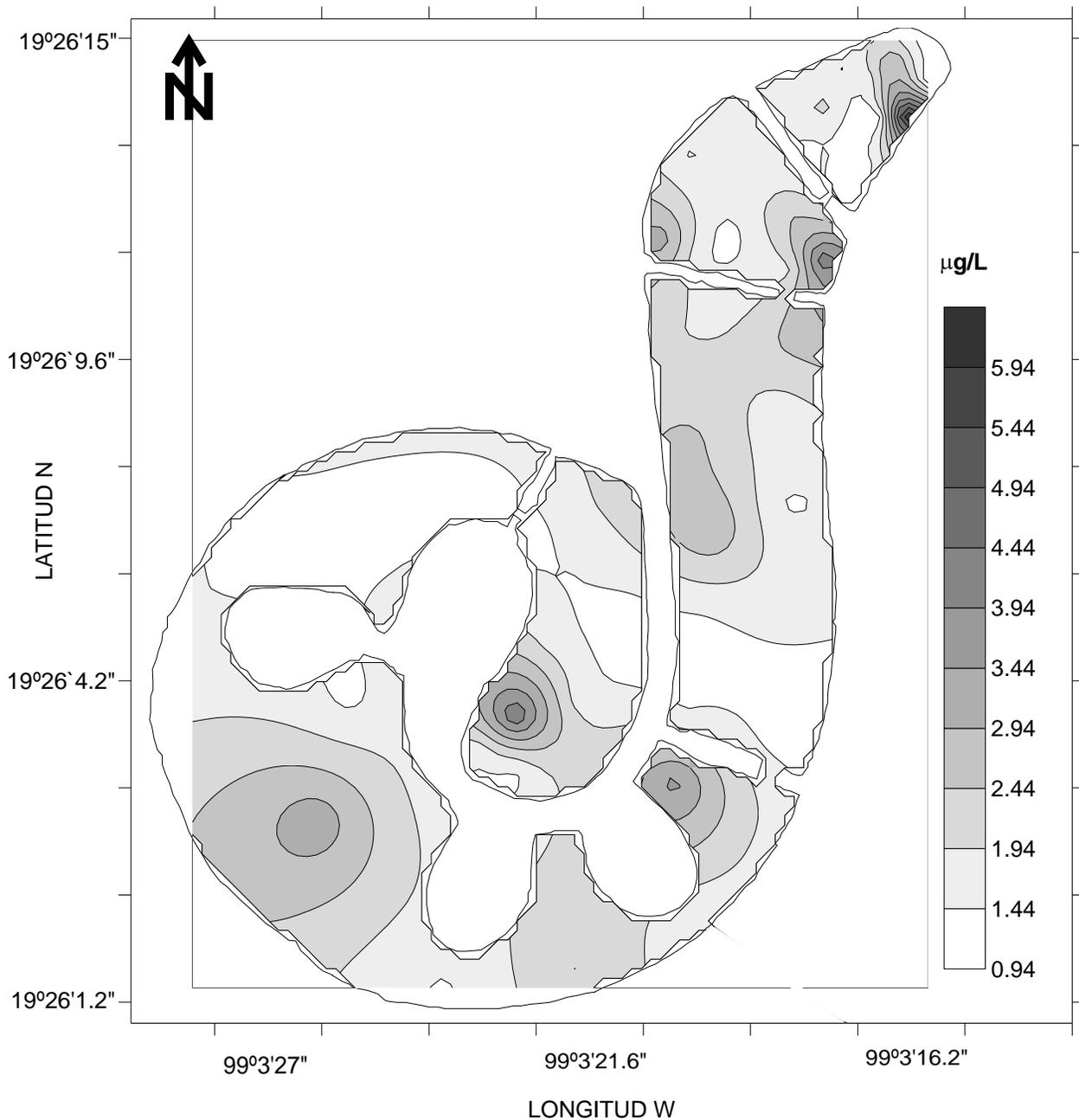


Figura 5.47. Distribución de concentraciones de Plomo en Lago del Parque Alameda Oriente.



Zinc.

Para el caso del zinc se observa que la mayor concentración se encuentra en la esclusa I, como en el caso del plomo en la zona noroeste de dicha esclusa, disminuyendo su concentración en las esclusas IV y V.

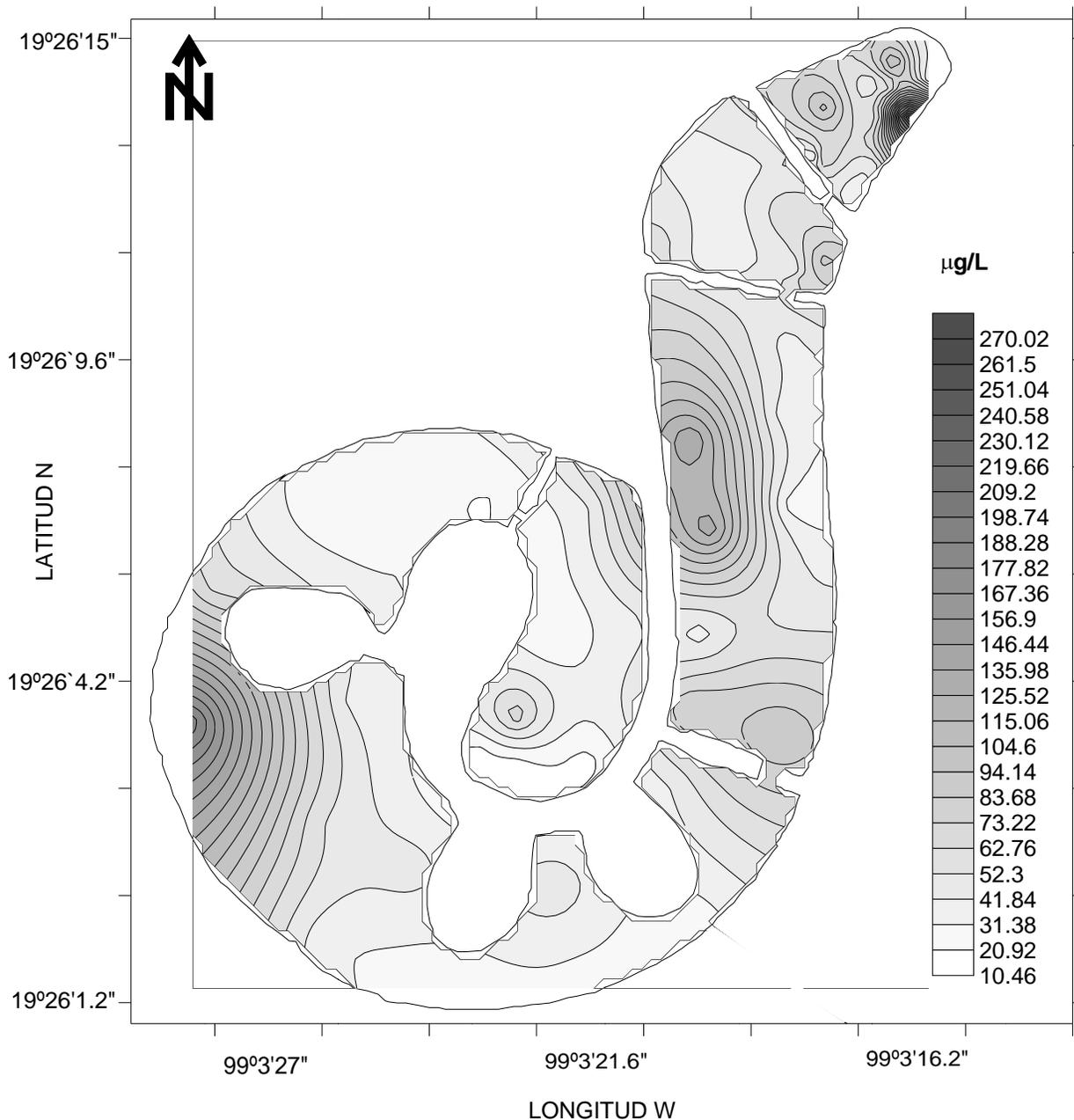


Figura 5.48. Distribución de concentraciones de Zinc en Lago del Parque Alameda Oriente.



REFERENCIAS

- Albert Palacios, L. A. *Toxicología Ambiental*, [en línea], Ciudad Juárez, México; Universidad de Ciudad Juárez, [2007]. pp. 61-75. Disponible en: <http://www.fisicoquimica/metales/EF298799/HDL/ENV/Vol5674.htm>
- Álvarez Yáñez, P. y Durán Valdez, G. [2005]. “*Simulación de los contaminantes en el Lago del Bosque de San Juan de Aragón, México D. F.*”, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM. México D.F.
- Álvarez Yáñez, P; Durán Valdez, G; De Lorenz Santos, F. y Fernández Villagómez, G. [2005]. *Simulación de la contaminación en el lago del Bosque de San Juan de Aragón*. II Simposio La Investigación y Desarrollo en la Facultad de Ingeniería, UNAM. México D.F.
- Arcos Serrano, M. E; Becerril A. J; Espíndola Zepeda, M. Y; Fernández Villagómez, G. y Navarrete Rodríguez, M. E. [1994]. *Transporte, destino y toxicidad de constituyentes que hacen peligrosos a un residuo* (1ª ed.). México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. pp. 16-31, 55-59, 106-112, 113-117, 129-133.
- Área de apoyo técnico, Alameda Oriente. [2006, septiembre 15]. *Proyecto de Experimentos en el Lago de la Alameda Oriente*. México: Gaceta AO.
- Centre for Ecological Sciences Indian Institute of Science, *Environmental Information System*. [en línea]. Bangalore, INDIA, 2005, [citado 07-01-2011], Disponible en: <http://www.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol320.htm>
- Cervantes, C. y Moreno Sánchez, R. [2003]. *Contaminación ambiental por metales pesados* (1ª ed.). México: AGT EDITOR, S.A. pp. 1-23, 117-119.
- Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad, *Aguas Continentales y Diversidad Biológica de México*, [en línea], México, CONABIO 2000, 19/12/2008, [citado 18-03-2011], Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/hidrologicas.html>



- De la Lanza E, G. y Dipotet-Barcada P. *Humedales y Territorios con Humedales*, [en línea], México, 2007, [citado 08-12-2010], Disponible en:
<http://www.smf.mx/C-Global/webhumedales.htm>
- Del Río Anaya M. y Luna Encinas J. [2007]. Estructplan Consultora S.A. Argentina; Departamento de Ingeniería de Proyectos, CUCEI, Universidad de Guadalajara y Escuela Politécnica de Guadalajara, SEMS Universidad de Guadalajara. Disponible en:
<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=1533>
- Documento BREF de la IPPC: *Mejores Técnicas Disponibles en Sistemas Comunes de Tratamiento/Gestión de Aguas y Gases residuales En el sector Químico* [en línea], 2003.
- Fundación Mapfre Medicina, [2008]. *Metales pesados tóxicos: Normativa actual y técnicas de análisis*. Editorial Mapfre S.A., Madrid España. Pp. 4-23.
- Harrison M. R. [2006]. *El medio ambiente (Introducción a la química medioambiental y a la contaminación)*. Editorial Acribia S.A., Zaragoza España, 3ª edición, Pp. 116-135.
- Metcalf and Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales*, 3ra Edición Ed. McGraw-Hill, 2003.
- Klaassen O. C., Watkins B. J.III., Cassaret and Doull, 2001. *Manual de Toxicología: The basic science of poisons*. 5a. edición, Mac-Graw Hill. Pp. 664-704.



- Lenntech, B.V. *Agua residual y purificación del aire*, [en línea], Rotterdamseweg 402 M , 2629 HH Delft, México, [2006]. Disponible en:

<http://www.lenntech.com/espanol/metales%20pesados.htm>
<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/htm>
- 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, (Publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 1 de diciembre de 1992 Pagina 28), [Ultima reforma publicada DOF 20-06-2011]
- Lomelí R. M. G., Tamayo O. R. e Ilarraza L. A, *Contaminación de metales pesados*, [en línea], México, 2006, [citado 21-04-2011], Disponible en

http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/15agua.html
<http://www.sagan-gea.org/hojared/portada1.htm>
- Mantilla M., Salles A. de A. P., Espinal G. J. y Silva R., [2002]. Interacción oleaje-corriente en la Boca de Puerto Real de la Laguna de Términos, Campeche. XVII Congreso Nacional de Hidráulica, Monterrey N. L., México. Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Mason C.F. 1984. *Biología de la contaminación del agua dulce*. Editorial Alambra, S.A. 1ª edición, Madrid España. Pp. 76,77.
- Núñez, B. “*EL PARQUE ECOLOGICO Y RECREATIVO ALAMEDA ORIENTE (PERAO)*”, Gaceta DGSU, Octubre 2006 pp. 7
- Patricia Martínez, M.G. Ramos y L.M. Rodríguez; “*Humedales Artificiales como Alternativa para Mejorar la Calidad del Agua*”, [2005], Disponible en:

http://www.eambiental.org/index.php?option=com_content&task=category§ionid=19&id=101&Itemid=198



- 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>
- SEMARNAT; [2008] “*Los Humedales en México*”. [citado 10-07-2010], Disponible en world wide web:

http://www.semarnat.gob.mx/educacionambiental/programas/Pages/programa_humedales.aspx.
- Scragg, A. [2009]. *Biotecnología medioambiental*. Editorial Acribia S.A., Zaragoza España, Primera edición, 12ª reimpresión, Pp. 129-134.
- Seoanez C. M, *Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*, Mundi Prensa, 1995.
- Toxicity of metals and metals mixtures: Analysis of concentration and time dependence for zinc and copper, V.P. Utgikar y col., *Water Research* 38 [2004], pp. 3651-3658.
- USEPA, [en línea]. User guide: Ecotoxicology Database System. United States, [2001], [citado 17-10-2009], Disponible en:

<http://water.epa.gov/polwaste/>
- Vega S. y Reynaga J. “*Metales Pesados*”, [en línea], México [2007]. Disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicon/R-0057.pdf>
- Water toxicity and metal contamination assessment of a polluted river: the Upper Vistula River (Poland), C.Guéguen y col., *Applied Geochemistry* 19 (2004) 153-162.



- 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 de fecha 25 de marzo de 1980).
- 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 de fecha 19 de octubre de 2008 Pagina 28), [Ultima reforma publicada DOF 06-01-2009]
- Norma oficial mexicana *NOM-003-SEMARNAT-1996*. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 12 de junio de 1996), [Ultima reforma publicada DOF 21-09-1998]