



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE QUÍMICA

ANÁLISIS DE METALES EN LA LAGUNA DE MECOACÁN, TABASCO  
(REPORTE DE ACTIVIDADES DEL CONVENIO PEP-UNAM)

INFORME DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERÍA QUÍMICA  
P R E S E N T A :  
ELENA SOFÍA MONTALVO JAVÉ



MÉXICO D.F.



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUÍMICA

2005

m.347122



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

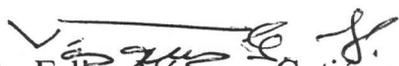
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

Jurado Asignado:

Presidente	Prof. Pedro Villanueva González
Vocal	Prof. Ernestina Cervera Flores
Secretario	Prof. Felipe Vázquez Gutierrez
1 <sup>er</sup> . Suplente	Prof. Georgina Artemisa Duarte Lisci
2 <sup>o</sup> . Suplente	Prof. Thalina Alejandra Rodríguez Fernández

El tema se desarrolla en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,  
Ciudad Universitaria

México D. F.

  
Dr. Felipe Vázquez Gutierrez  
Asesor del Tema



Elena Sofía Montalvo Javé  
Sustentante

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO I Generalidades: Metales Traza</b>	<b>4</b>
1.1 Metales en cuerpos de agua.	
1.2 Metales considerados como peligrosos	
1.3 Toxicidad	
1.4 Límites máximos permisibles	
<b>CÁPITULO II Descripción del Área de Estudio</b>	<b>8</b>
2.1 Localización geográfica	
2.2 Descripción	
2.3 Clima	
2.4 Mapas	
<b>CÁPITULO III Parte Experimental</b>	<b>13</b>
3.1 Parámetros medidos	
3.2 Material y equipo	
3.3 Método experimental y técnica	
<b>CÁPITULO IV Resultados</b>	<b>15</b>
4.1 Tablas de datos y gráficas	
4.3 Análisis de resultados	
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>54</b>

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha aumentado el interés por el conocimiento del papel que juegan los metales pesados en la salud humana y en el ambiente. Los problemas derivados de la contaminación del suelo y cuerpos de agua por metales pesados ha adquirido mayor relevancia en nuestro país. Esto ha generado el interés por desarrollar proyectos de monitoreo y control de contaminación por metales, en especial en las áreas marinas y limnológicas, para asegurar la conservación del medio ambiente.

Entre la diversidad de factores que pueden influir en el aumento de los niveles de concentración de metales disueltos, la actividad industrial juega un papel importante, ya que las industrias pocas veces tratan sus efluentes y emisiones atmosféricas. Estas, además se encuentran normalmente agrupadas en lo que se conoce como zonas industriales, lo que representa una gran fuente de desechos tóxicos que se concentran en un área en la que el grado de exposición puede influir de manera importante en el funcionamiento del ecosistema. Esto ha impulsado a las industrias a preocuparse por las condiciones iniciales y finales en que se encuentren el subsuelo, suelo y cuerpos de agua; dichos estudios constituyen el punto de partida en este trabajo ya que siendo los cuerpos lagunares unos de los más afectados, surge la necesidad de establecer el contenido total de elementos metálicos en dichos lugares, como medio para conocer la composición y como indicativo de la contaminación.

Para el desarrollo de un proyecto relacionado con la industria y la contaminación ambiental se debe saber que los niveles de algunos elementos no son tomados en cuenta, debido a que estos elementos no alcanzan la suficiente concentración para ser considerados contaminantes, pero demuestran su existencia y ésta debe ser analizada para la regulación y normatividad de la zona de estudio.

La evaluación se llevó a cabo en la Laguna de Mecoacán, Tabasco, que es una zona en la que existe una gran actividad industrial que gira alrededor de la extracción petrolera. La Laguna de Mecoacán se encuentra en la región con mayor desarrollo energético de México. La Industria del Petróleo y Gas de esta zona esta vinculada a un grupo de diversas empresas que se ubican en la ciudad de Villahermosa, Tabasco y ciudad del Carmen, Campeche. Este

grupo está conformado por empresas con experiencia en el sector petrolero en las principales fases de la exploración, perforación y mantenimiento de pozos, y producción y procesado de gas, en mar y tierra.

El presente estudio fue realizado con el objetivo de conocer y evaluar la presencia de elementos químicos, en éste caso iones metálicos y su concentración. Los metales tomados en consideración fueron: Cu, Pb, V y Ni. El contenido de estos metales se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica en muestras de agua superficial en puntos determinados que llamaremos estaciones de muestreo. Las muestras se tomaron durante tres estaciones climáticas del año 2001 y 2002: nortes (M1), estiaje (M2) y lluvias (M3).

En general se observó que, en muchos de los puntos o estaciones de muestreo de la laguna, las concentraciones fueron bajas o se encontraba dentro de los límites establecidos por la norma, sin embargo la contaminación por plomo y vanadio, metales considerados como tóxicos, sobrepasa los límites máximos permisibles durante la mayor parte del año.

Las concentraciones fueron determinadas en el Laboratorio de Fisicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Éste trabajo pudo concretarse gracias al apoyo técnico y financiero brindado por el Laboratorio de Fisicoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la UNAM, entidad responsable de la ejecución del proyecto y de PEMEX-EXPLORACIÓN-PRODUCCIÓN, entidad que autorizó la realización del proyecto.

## CAPITULO I. Generalidades: Metales Traza

### Metales en cuerpos de agua.

Partiendo del hecho que los ecosistemas costeros son los de más alta productividad por ser subsidiarios de biomasa a otros ecosistemas costeros marinos a través de las redes tróficas y que son el medio donde se reproduce, cría, alimenta, refugia y cohabita un gran número de especies de flora y fauna acuática, el conocimiento del nivel de concentración de elementos tóxicos es objeto de particular atención en el control de la calidad del ambiente, donde se deben cumplir regulaciones contempladas dentro de la legislación en la mayoría de los países [EPA].

Los iones metálicos son sustancias que se encuentran presentes en todos los cuerpos y redes de agua tanto de origen natural como artificial. Algunos de ellos son indispensables para el funcionamiento de los ecosistemas y del organismo humano, pero en cantidades excesivas pueden llevar a efectos nocivos, cuando es agua destinada al consumo humano, dando sabores y olores desagradables.

La presencia de éstos metales en cuerpos de agua se debe a fenómenos naturales como el arrastre de sedimentos por los ríos y por el viento, la actividad hidrotermal y a actividades antropogénicas del ambiente en general como el vertido de desechos industriales y urbanos a ríos y lagos [Guidelines for Canadian Drinking Water Quality, 1978]. Otra fuente es la corrosión de tuberías y de estructuras metálicas sumergidas en agua como las plataformas petroleras. La concentración de estos metales es generalmente baja (desde ppt hasta ppm) pero las zonas con problemas de contaminación de metales disueltos pueden alcanzar mayores concentraciones.

Los metales contenidos en las muestras se clasifican por la cantidad relativa del elemento presente en ella, dicho componente está considerado como traza cuando su presencia es menor a 0.01 % (100 ppm) y es considerado como un metal disuelto al ser filtrado y este no logra ser retenido por una membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  de poro.

## Metales considerados como peligrosos

Las normas oficiales mexicanas sobre 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) los que se muestran en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1. Principales metales de interés toxicológico.**

1.Aluminio	7.Mercurio	13.Magnesio	19.Estaño
2.Plata	8.Cobalto	14.Antimonio	20.Boro
3.Cadmio	9.Vanadio*	15.Cromo	21.Plomo*
4.Arsénico	10.Manganeso	16.Selenio	22.Talio
5.Cobre*	11.Níquel*	17.Titanio	23.Litio
6.Hierro	12.Zinc	18.Berilio	24.Bismuto

(\*) Metales estudiados en este trabajo

Entre estos se consideran como muy peligrosos el mercurio y el berilio que con una leve exposición pueden ocasionar severos daños a la salud humana. El resto se consideran como potencialmente peligrosos y deben mantenerse bajo control.

Mercurio, plomo y cadmio son los metales que más prevalecen en el medio ambiente debido a su alta influencia en los procesos industriales, en el caso del plomo, éste se encuentra altamente distribuido en la naturaleza pero el mayor riesgo de contaminación se encuentra cuando el metal es utilizado por el humano. Algunas fuentes son los humos y las partículas de polvo que proceden de la fundición del plomo, de la fabricación de insecticidas, pinturas, vidrios y de las gasolinas que contienen aditivos de plomo. Los seres vivos pueden absorber plomo por inhalación o ingestión, si la absorción es lenta la excreción lo es más, de tal manera que el plomo tiende a acumularse.

## Toxicidad

La toxicidad de los metales varía según el nivel de dosis y el tiempo de exposición y pueden diferir de un metal a otro según su interacción bioquímica con el organismo. Algunos metales son altamente tóxicos hasta el punto de ser llamados carcinogénicos como por ejemplo: Arsénico, berilio cadmio, cromo, manganeso, mercurio, plomo y talio. Una leve exposición de mercurio o de berilio puede ocasionar graves daños a la salud. Otros

metales también causan daño reproductivo: Mercurio, plomo, arsénico, cobre, selenio, cadmio, níquel y litio.

Otros metales se han definido como posibles elementos peligrosos, lo cual significa que su toxicidad es potencial y que deben mantenerse bajo control: Bario, zinc, vanadio, manganeso y el estaño. Todos excepto el bario, son metales pesados [Duffus, 1983].

Hay algunas similitudes en la toxicidad de ciertos metales pero las proteínas que son afectadas por el mercurio, plomo, cadmio y arsénico pueden diferir de un metal a otro y su toxicidad depende de la interacción bioquímica con el organismo [Laws, 1981].

El resto de metales pesados producen efectos de gravedad similar, es por esto que la detección de metales pesados se ha convertido en un parámetro clave de los análisis medioambientales, especialmente en los medios acuáticos. Una detección rápida o un monitoreo constante resulta de vital importancia para la conservación del medio.

La biodisponibilidad y la bioconcentración de los metales son significativamente superiores en el medio acuoso respecto del terrestre y de la atmósfera:

- En el **medio acuoso** presentan una elevada biodisponibilidad y son fácilmente absorbidos por la biota acuática
- En el **suelo** existen metales que tienen gran movilidad como el Cd, Mn, Al y Fe, mientras que el Cu y el Ni tienen una movilidad intermedia y la movilidad del Co y el Pb es baja.
- En la **atmósfera** el potencial de interacción con el ecosistema está relacionado con la forma física y la especie química en que se encuentra el metal.

### **Límites Máximos Permisibles**

Los metales traza constituyen un problema desde el momento en que su generación alcanza volúmenes importantes y como consecuencia se han determinado una serie de límites para las concentraciones de metales pesados, ya que estos empiezan a invadir los espacios vitales y a disminuir la calidad de vida del medio en que se encuentren, por lo tanto nos enfrentamos a problemas ambientales provocados por la generación y disposición de residuos sólidos y en caso particular de agua lagunar por la disposición de metales en solución. Los contaminantes como los metales traza se acumulan en sedimentos, agua y organismos vivos provocando así la introducción y distribución de sustancias tóxicas en la red alimenticia afectando a la salud humana, la fauna y la vegetación.

Los límites máximos permisibles de contaminantes en agua establecidos por la Norma Oficial Mexicana, de los metales en estudio, se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1.2. Límites Máximos Permisibles.**

<b>Metal</b>	<b>Límites Máximos Permisibles</b>
<b>Cu</b>	10 mg/L
<b>Ni</b>	4 mg/L
<b>Pb</b>	1.5 mg/m <sup>3</sup>
<b>V</b>	0.1 mg/L

[Diario Oficial, 18/10/1993]

## **CAPÍTULO II. Descripción del área de estudio**

La República Mexicana con más de 10,000 Km de litoral, cuenta aproximadamente con 1,260,000 ha de lagunas costeras potencialmente productivas. En el Golfo de México existen 29 lagunas litorales de las cuales 6 pertenecen al estado de Tabasco [Lankford, 1977]. Mecoacán es una de estas lagunas y es uno de los estuarios o lagunas costeras más importantes de México.

### **Localización geográfica**

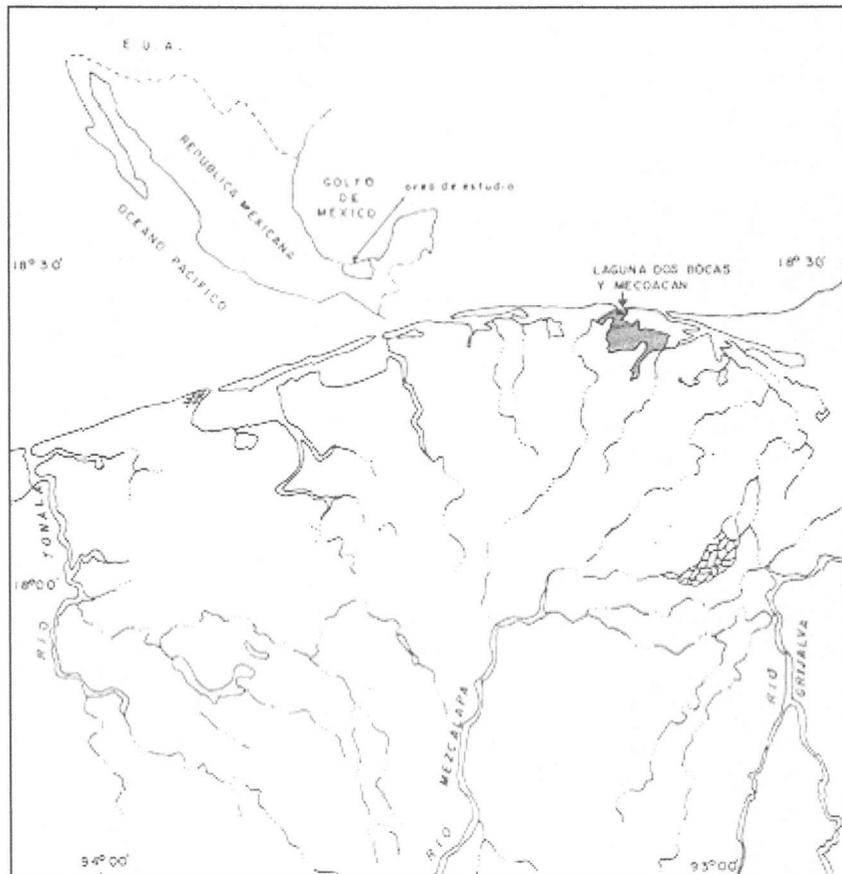
El estado de Tabasco se encuentra en la región sureste del país y limita al norte con el Golfo de México, al este con Campeche y con Guatemala, al sur con Chiapas y Guatemala y al oeste con Veracruz; su superficie es de 25,337 km<sup>2</sup> y cuenta con más agua que tierra por los grandes ríos que lo atraviesa; recibe la precipitación pluvial más alta del país y cuenta con 110 Km. de litoral, barras naturales y con sus principales ríos: Usumacinta y Grijalva.

La laguna de Mecoacán es el principal cuerpo de agua situado en el extremo oeste de la costa de Tabasco; se encuentra cerca del poblado de puerto Ceiba, a 50 Km Oeste de la población de Frontera y a 68 Km al norte de Cárdenas. La laguna está limitada por las coordenadas siguientes: 18°16', 18°26' de latitud norte y 93°04', 93°14' de longitud oeste.

### **Descripción**

La laguna de Mecoacán es un cuerpo de agua con pequeñas islas y vegetación de manglar con la flora y fauna propia de los manglares de tierra tropical. Dentro de la morfología lagunar podemos decir que la laguna de Mecoacán es alargada, con su eje principal paralelo al litoral. La profundidad media es de 1.20 m con valores máximos de hasta 3.5m en la barra de Dos Bocas y 5.0 m en el canal natural El Bellote, por lo que se le puede considerar somera. El piso lagunar tiene grandes bancos orgánicos y granjas de cultivo, principalmente de ostión. Los alrededores cuentan con formaciones extensas de pantanos de manglar y de llanuras de inundación. La laguna está situada en un lugar donde el delta se mantiene activo y la energía del oleaje es relativamente alta.

### Mapa 2.1 Localización geográfica, laguna Mecoacán.



[Fuente: ANALES DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA]

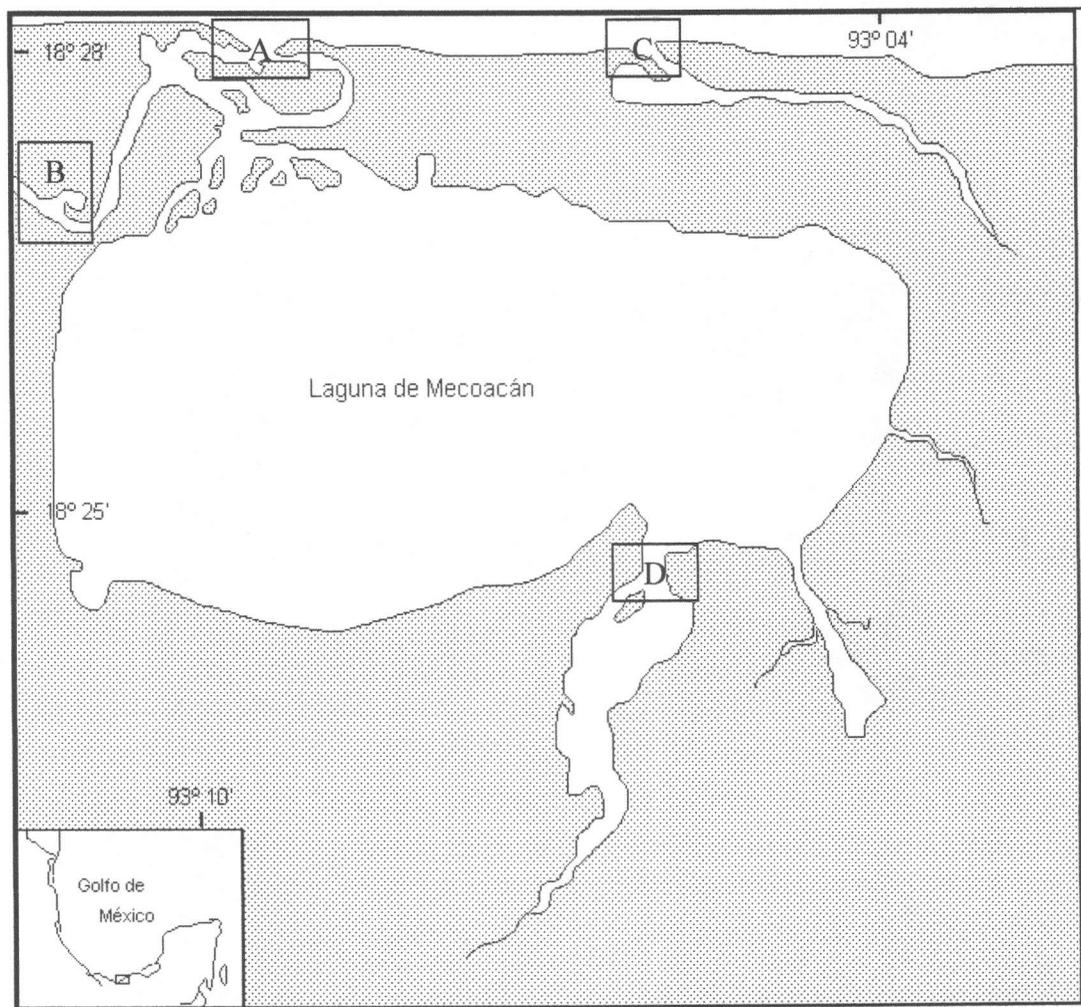
La comunicación entre la laguna y el Golfo de México es a través de la boca de la laguna que se denomina “Dos Bocas” y mediante una amplia boca limitada por dos barreras litorales formadas por cordones de playa y dunas. Esta boca mide aproximadamente 200m<sup>2</sup> de amplitud. Hay dos islas en el interior de la laguna que constituyen un obstáculo importante para el flujo de la propia laguna, es por eso que se cree que la concentración de ciertas sustancias en lugares bien localizados es importante y podría llegar a influir en el desarrollo de la misma.

Cabe destacar que nos referimos a una laguna típica de litoral y que la construcción exagerada de industrias causarían destrucción y proliferación de las llanuras de inundación y del manglar [Carranza-Edwards, 1975].

**Tabla 2.1. Características principales de la laguna de Mecoacán.**

Superficie de la laguna	62 km <sup>2</sup>
Comunicación con el mar	La comunicación con el Golfo de México es constante a través de una boca natural llamada Dos Bocas de 300 m de ancho.
Principales afluentes	Las lagunas asociadas son: Tilapia y La Negrita y se comunican a través de canales, Río Seco, Cuxcuapa, Escarbado y González.
Uso	Actividad petrolera, pesquera y acuícola.

**Mapa 2.2. Localización de las fronteras abiertas, laguna Mecoacán.**



[Fuente: ANALES DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA]

**Tabla 2.2. Localización de las fronteras abiertas.**

FRONTERA	UBICACIÓN
A	Límite de la región marina
B	Río Seco
C	Río González
D	Arroyo Hondo

## Clima

El clima característico de Tabasco es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano [Tamayo, 1979; García, 1974]. La humedad relativa se estima en 65 por ciento promedio y la precipitación media anual a lo largo de la costa es del orden de 1,500 a 1,800 mm<sup>3</sup> con un promedio máximo mensual de 157.94 mm<sup>3</sup>.

La temperatura media anual es de 26°C, con un máximo de 28°C en julio, con temperatura extrema máxima de 42-43°C, la mínima se presenta en enero con 22°C y la mínima extrema de 10°C en invierno.

Los meses lluviosos son de junio a septiembre, con una precipitación media de 240 mm<sup>3</sup>, siendo septiembre el mes más lluvioso con precipitación de 350 mm<sup>3</sup>. Los meses de enero a abril constituyen la temporada relativamente seca.

La evaporación media anual es de 1,600 mm<sup>3</sup> con un escurrimiento medio anual de 300 mm<sup>3</sup>, siendo su máximo en octubre y el mínimo en abril. En los meses invernales, el desplazamiento hacia el sur de masa de aire frío genera fuertes vientos denominados "nortes".

Las mayores velocidades de los vientos se concentran en los meses de octubre, noviembre y diciembre con velocidades que alcanzan los 30 kilómetros por hora; presentándose en mayo y junio las menores con 21 kilómetros por hora.

### CAPITULO III. Parte Experimental

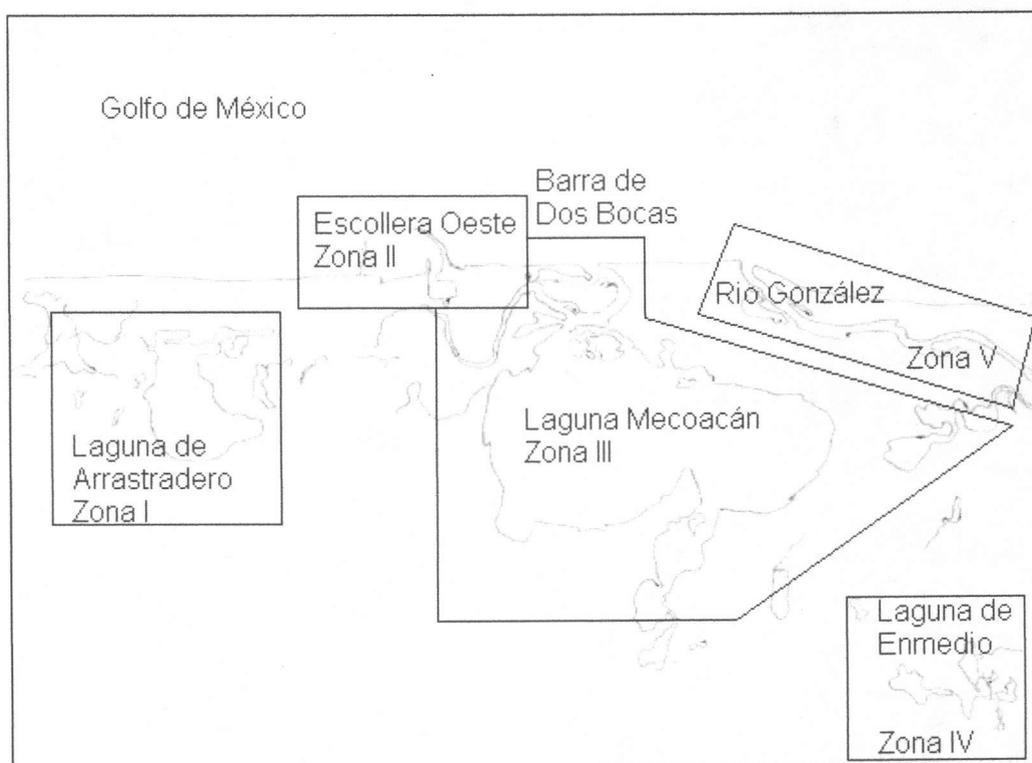
Se llevaron a cabo muestreos durante las tres estaciones climáticas de la zona: Época de nortes en los meses de noviembre y diciembre del 2001 (Muestreo I); Época de estiaje en abril 2002(muestreo II) y lluvias en el mes de septiembre 2002 (muestreo III).

Para este estudio, se eligieron 5 zonas de muestreo de agua (tabla 3.1 y mapa 3.1).

**Tabla 3.1. Localización de estaciones de muestreo.**

<b>Zona I</b>	Laguna de la Flores (Laguna de Arrastradero).
<b>Zona II</b>	Dársena Dos Bocas, Escollera Oeste y Canal de Dos Bocas.
<b>Zona III</b>	Puente Bugambilias, Puente Cobertizo, Río Seco, Laguna Mecoacán, Laguna Tilapia, Laguna Negrita, Arroyo Hondo, Laguna Eslabón y Laguna Tinaja.
<b>Zona IV</b>	Laguna de En medio, Laguna Tronco y Laguna Pomposú.
<b>Zona V</b>	Río González.

**Mapa 3.1. Zonificación de puntos de muestreo, laguna Mecoacán.**



## Método Experimental y Técnica

### *Método utilizado en campo:*

Las muestras de agua de superficie fueron colectadas utilizando botellas de plástico de 500 mL, la preparación y lavado de los recipientes para el muestreo se llevó a cabo con una solución del 10% de HNO<sub>3</sub>. Las muestras de agua se filtraron in situ para detener los sedimentos o sólidos por medio de una membrana de celulosa (Ester Mixta) con una medida de poro de 0.45 μm y 47 mm de diámetro, se almacenaron y fueron transportadas para ser analizadas al Instituto de Ciencias del Mar, Laboratorio de Fisicoquímica Marina.

### *Método utilizado en el laboratorio:*

El material de laboratorio se lavó con jabón Extran libre de fosfatos y después con una solución de HNO<sub>3</sub> (el HNO<sub>3</sub> al 70% de pureza fue destilado a 115°C para obtenerlo libre de impurezas) y agua destilada, finalmente se enjuaga con agua destilada y desionizada.

Se utilizaron columnas de extracción en las que la resina de intercambio iónico se usó para concentrar los metales (Resina Chelex 100 de Bio- Rad Laboratorios).

Una vez concentrados los metales se analizaron por espectrometría de absorción atómica en un horno de grafito (Perkin-Elmer 3100 HGA-600), utilizando una lámpara para cada elemento (Lámparas Perkin-Elmer).

En el espectrómetro de absorción atómica se evaporan y calcinan entre 0.5 y 10 μL de muestra sobre una superficie de carbón, la temperatura se eleva aproximadamente de 2000 a 3000 °C, la atomización de la muestra se produce en pocos segundos, en estas condiciones se puede medir la absorción de las partículas atomizadas. En condiciones normales, la concentración del elemento en un horno de grafito se mide en μg/L, los límites de detección instrumental se observan entre  $3 \times 10^{-4}$  μg/mL hasta 2 μg/mL. Estos límites de detección se realizaron inicialmente en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama (mg/L) y posteriormente en horno de grafito y fueron corroborados por los datos de las curvas de concentración y respuestas de absorbancia para las cuales se utilizaron soluciones Standard certificadas (Merk).

En el siguiente ejemplo podemos observar la curva de calibración para una solución estándar o patrón de Cu, para cada metal se realizó el mismo procedimiento:

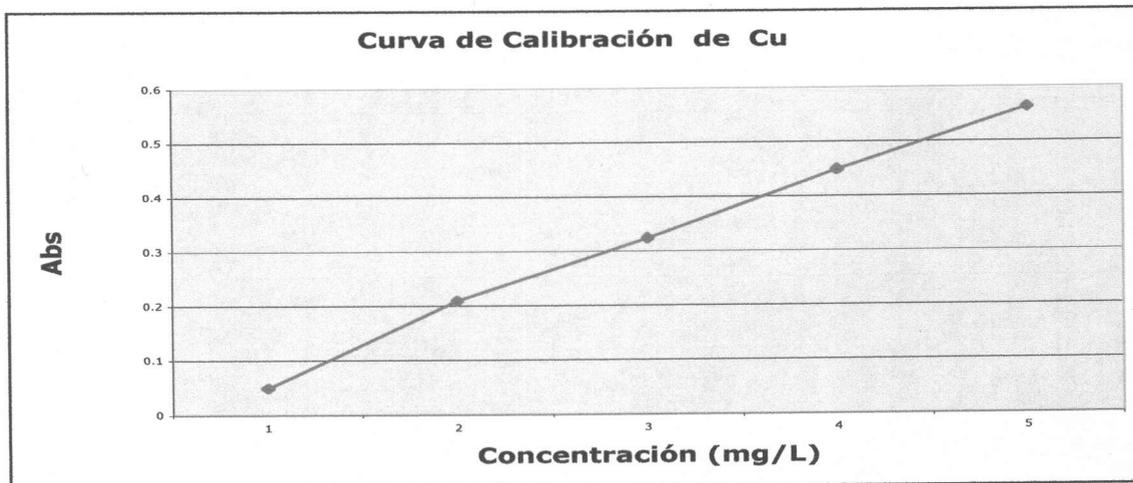
1. Se prepararon 5 soluciones de una solución patrón de 1000 ppm de Cu (solución 1).
2. Se tomó una alícuota de 0.1 ml de la solución patrón.
3. Se colocó en un mtraz de 100 ml y se llevó a afore. (solución 2).
4. De esta nueva solución se tomaron 5 alícuotas(solución 3).

**Tabla 3.2 Disoluciones**

Matraz	Solución 2	Solución 3
1	1 ml	0.01
2	2 ml	0.02
3	3 ml	0.03
4	4 ml	0.04
5	5 ml	0.05

**Tabla 3.3 Datos obtenidos de Abs. Horno de grafito.**

Matraz	Solución 3 (mg/L)	Abs
1	0.01	0.049
2	0.02	0.210
3	0.03	0.324
4	0.04	0.449
5	0.05	0.562



Ejemplo: Para cada muestra de agua se hicieron tres mediciones, se realizó un promedio de los valores para obtener el dato final.

**Tabla 3.4 Mecocacán I. estación 20. Cu**

Numero de réplica	Lectura (mg/L)
1	0.049
2	0.047
3	0.051
Dato final	0.049

## **CAPITULO IV. Resultados**

A continuación se presentan las tablas de datos junto con las gráficas de concentraciones totales y promedio por localidad para los siguientes metales disueltos: Cu, V, Ni, Pb. Para cada metal y en cada localidad se mencionan los límites máximos y mínimos de concentración del metal en cuestión. Al final se presentan las gráficas que comparan la concentración de los cuatro metales en las tres épocas del año en las que se hicieron los muestreos.

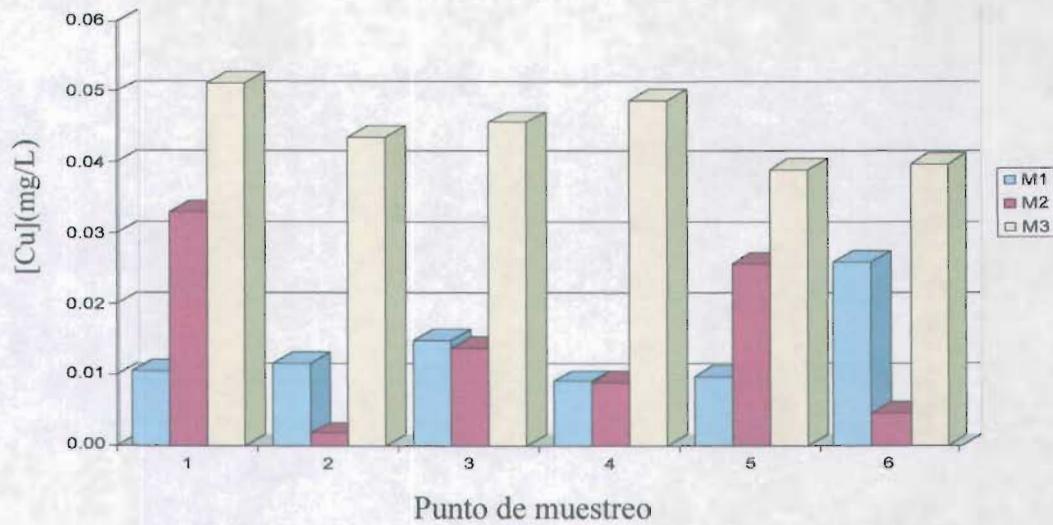
**Tabla 4.1. Resultados obtenidos para el cobre.**

No. de muestra	Zona	Localidad	Cu (mg/L)		
			Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III
1	I	Laguna Arrastradero	0.011	0.033	0.051
2			0.012	0.002	0.044
3			0.015	0.014	0.046
4			0.009	0.009	0.049
5			0.010	0.026	0.039
6			0.026	0.005	0.040
7	III	Puente Bugambilia	0.015	0.006	0.034
8	III	Puente Cobertizo	0.009	0.001	0.033
9	III	Río Seco e Islas	0.009	0.004	0.031
10			0.007	0.002	0.037
11			0.038	ND	ND
12			0.012	0.004	0.036
13			0.009	0.004	ND
14			0.011	0.001	0.036
15			0.008	0.003	0.045
16	II	Escollera Oeste y Dársena de Dos Bocas	0.010	ND	ND
17			0.008	ND	ND
18			0.009	0.001	0.036
19			0.006	0.001	0.025
20			0.049	0.000	0.041
21			0.015	0.001	0.077
22	III	Laguna Mecoacán	0.010	0.001	0.032
23			0.010	0.005	0.050
24			0.011	0.002	0.035
25			0.057	0.002	0.033
26			0.009	0.001	0.040
27			0.010	0.002	0.042
28			0.010	0.003	0.040
29			0.010	0.003	0.042
30			0.009	0.002	0.043
31			0.012	0.004	0.033
32			ND	0.007	0.034
33			0.013	0.003	0.034
34			0.013	0.002	0.035
35	III	Laguna Tilapia	ND	0.004	0.037
36			0.017	0.004	0.035
37			0.009	ND	ND
38	III	laguna Negrita	0.009	0.007	0.032
39	III	Arroyo Hondo	0.008	0.010	0.001
40	III	Laguna Eslabón	0.007	0.007	ND
41	IV	Laguna de Enmedio	0.009	0.006	ND
42	III	Laguna Tinaja	0.016	0.003	0.001
43	V	Río González	0.012	0.006	ND
44			0.012	0.006	ND
45			0.077	0.005	0.005
46			ND	0.009	ND
47			ND	0.004	0.029
48	IV	Laguna Troncón	ND	0.006	ND
49	IV	Laguna Pomposú	ND	0.005	ND
51	II	Canal Dos Bocas	ND	0.003	0.071

\*ND = No detectables

**Gráfica 4.1 Cobre-zona I.**

Zona I  
Laguna de Arrastradero

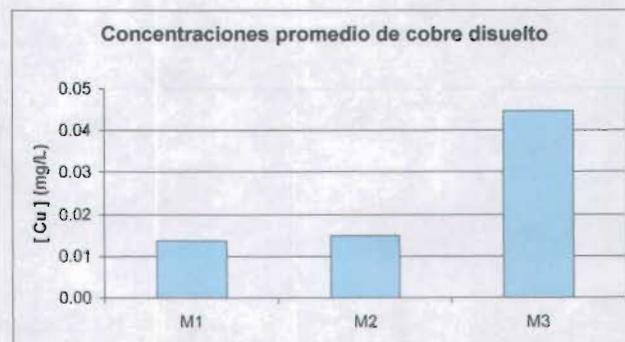


En la laguna Arrastradero, los valores de la concentración de cobre disuelto fluctuaron entre 0.002 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 2) y 0.045 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 1). La gráfica 4.2 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de cobre se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Tabla 4.2. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para la laguna Arrastradero (zona I).**

	Cu (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.009	0.002	0.039
Máximo	0.026	0.033	0.051
Promedio	0.014	0.015	0.045

**Gráfica 4.2. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para la laguna Arrastradero (zona I).**



**Gráfica 4.3 Cobre - zona II.**

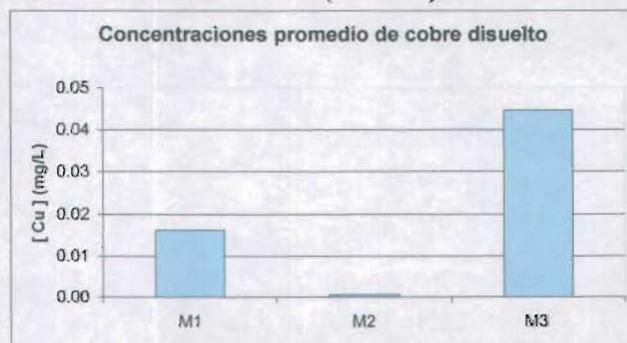


En la Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas, los valores de la concentración de cobre fluctuaron entre  $3.5 \times 10^{-4}$  mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 20) y 0.077 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 21). La gráfica 4.4 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de cobre se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

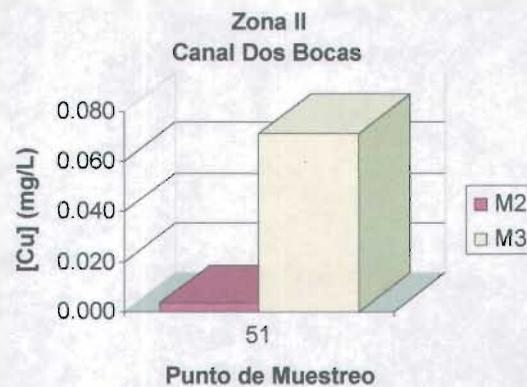
**Tabla 4.3 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas (zona II) en los muestreos 1,2 y 3.**

	Cu (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.006	3.5E-04	0.025
Máximo	0.049	0.001	0.077
Promedio	0.016	0.001	0.045

**Gráfica 4.4 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas (zona II) en los muestreos 1,2 y 3.**

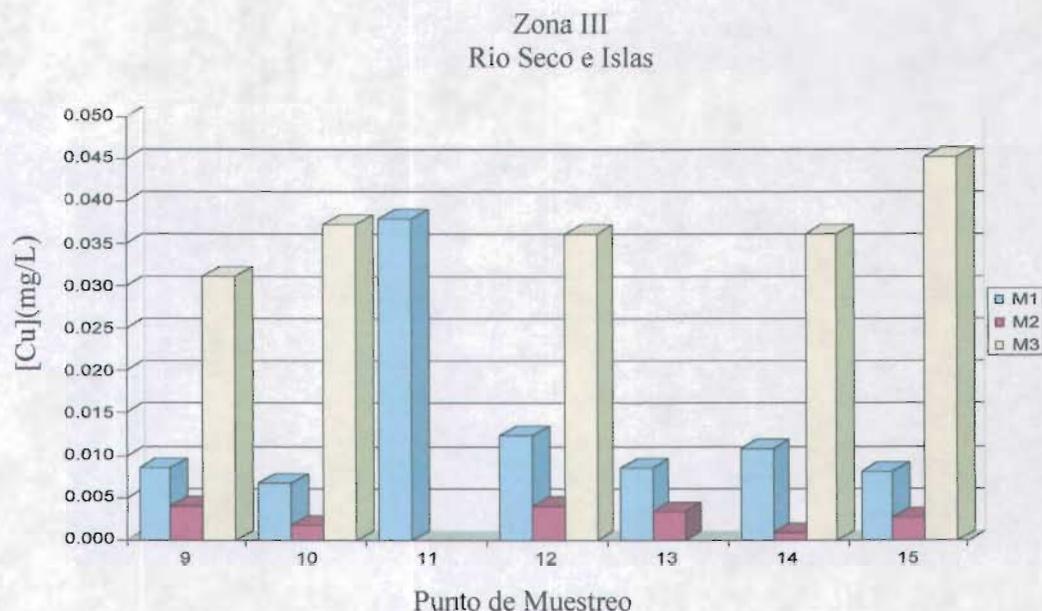


**Gráfica 4.5 Cobre - zona II.**



En el Canal de Dos Bocas, los valores de la concentración de cobre fluctuaron entre 0.003 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 51) y 0.071 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 51). La mayor concentración de cobre se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Gráfica 4.6 Cobre - zona III.**

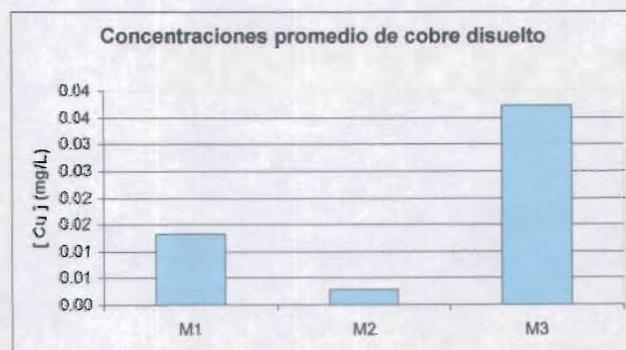


En la Zona III (Río Seco e Islas), los valores de la concentración de cobre fluctuaron entre 1  $\mu\text{g/L}$  (muestreo 2, estación de muestreo 14) y 45  $\mu\text{g/L}$  (muestreo 3, estación de muestreo 15). La gráfica 4.7 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de cobre se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

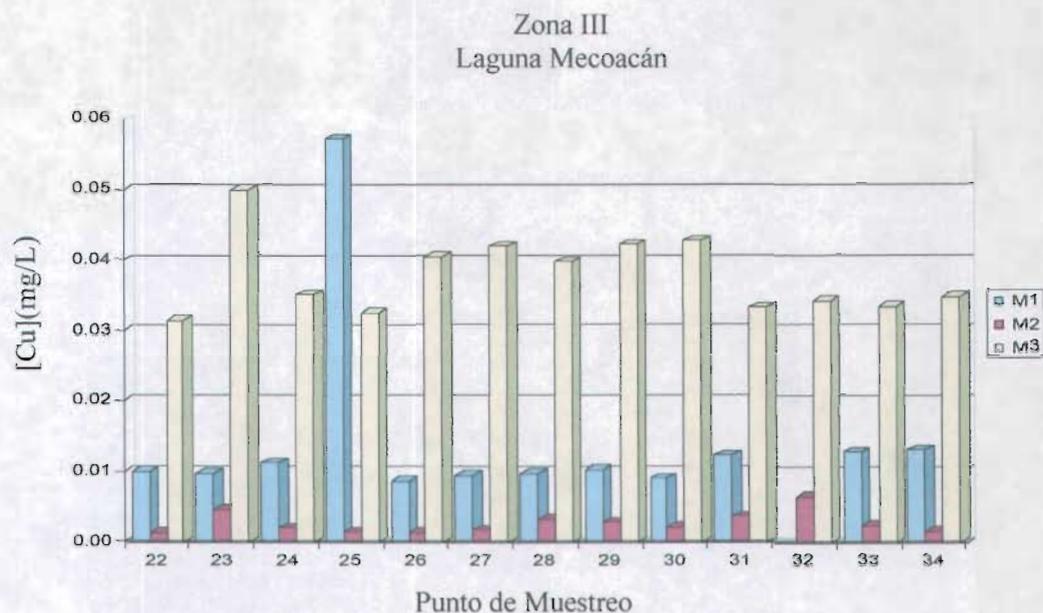
**Tabla 4.4 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para el Río Seco e Islas (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	Cu (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.007	0.001	0.031
Máximo	0.038	0.004	0.045
Promedio	0.013	0.003	0.037

**Gráfica 4.7 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para el Río Seco e Islas (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3**



**Gráfica 4.8 Cobre - zona III.**

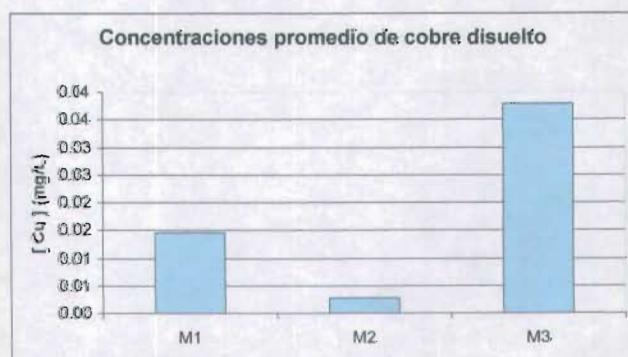


En la laguna Mecoacán (Zona III), los valores de la concentración de cobre fluctuaron entre 0.001 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 22) y 0.057 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 25). La gráfica 4.9 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de cobre se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Tabla 4.5 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para la laguna Mecoacán (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

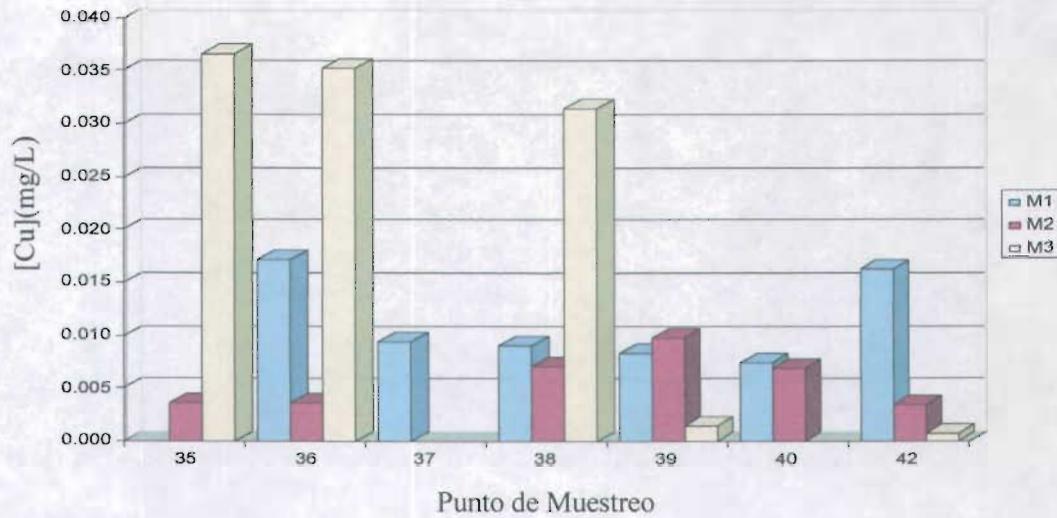
	Cu (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.009	0.001	0.032
Máximo	0.057	0.007	0.050
Promedio	0.015	0.003	0.038

**Gráfica 4.9 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para la laguna Mecoacán (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**



**Gráfica 4.10 Cobre - zona III.**

Zona III  
Lagunas Tilapia, Negrita, Eslabon, Tinaja y Arroyo Hondo

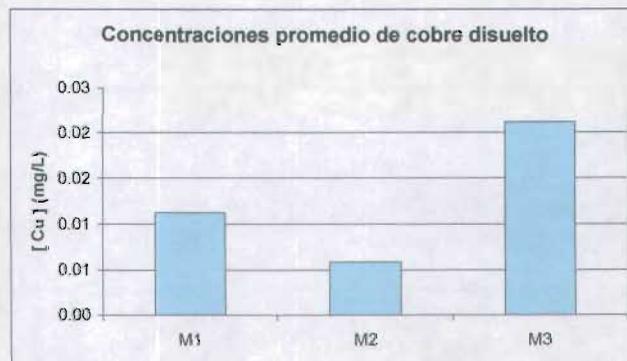


En las lagunas Tilapia, Negrita, Eslabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III), los valores de la concentración de cobre fluctuaron entre 0.001 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 42) y 0.037 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 35). La gráfica 4.11 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de cobre se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

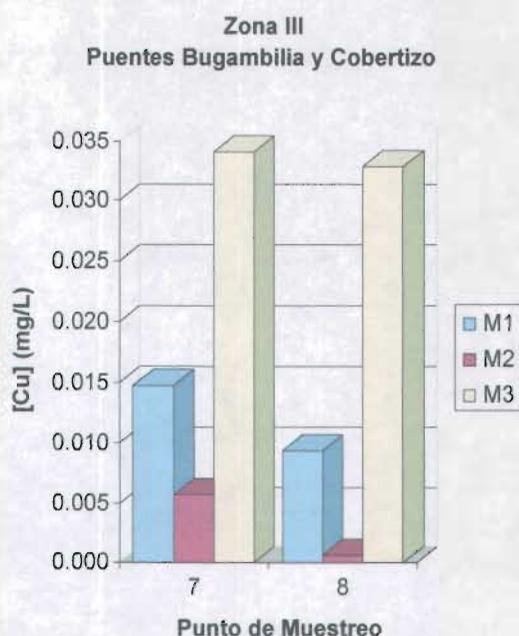
**Tabla 4.6 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para las lagunas Tilapia, Negrita, Eslabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	Cu (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.007	0.003	0.001
Máximo	0.017	0.010	0.037
Promedio	0.011	0.006	0.021

**Gráfica 4.11 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de cobre para las lagunas Tilapia, Negrita, Eslabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

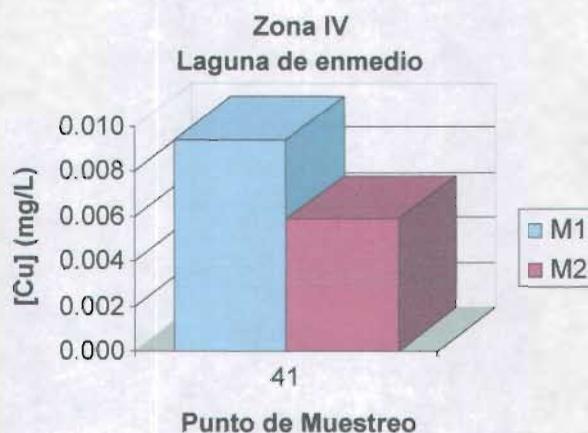


**Gráfica 4.12. Cobre - zona III.**



En los puentes Bugambilia y Cobertizo (zona III), los valores de la concentración de cobre fluctuaron entre 0.001 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 8) y 0.034 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 7). La mayor concentración de cobre se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Gráfica 4.13. Cobre - zona IV.**



En la laguna de Enmedio (zona IV), los valores de la concentración de cobre fluctuaron entre 0.006 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 41) y 0.009 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 41). La mayor concentración de cobre se encontró en el muestreo M1 (época de nortes).

Gráfica 4.14. Cobre-zona V.



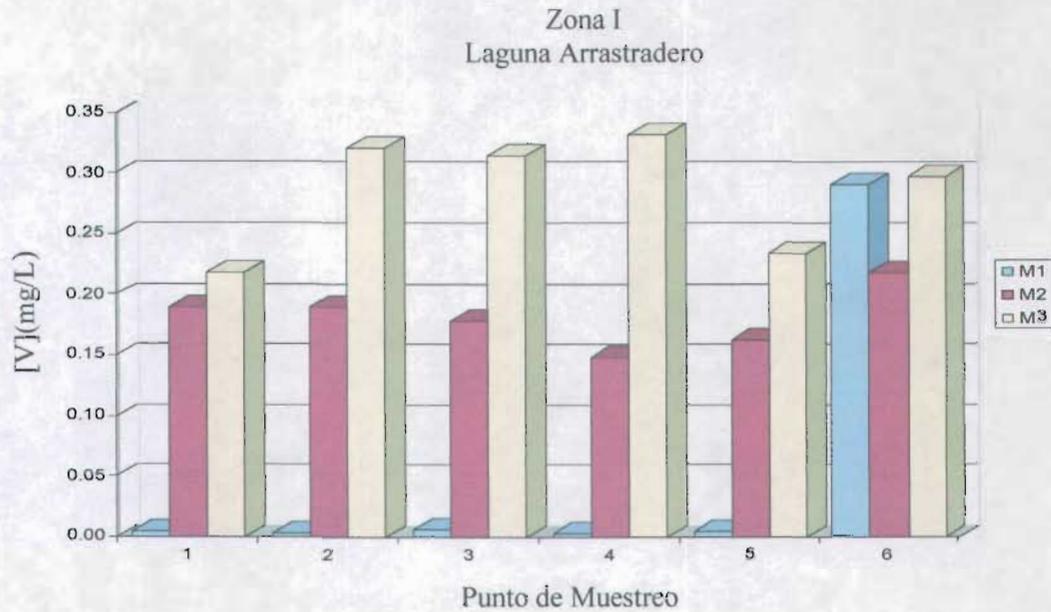
En el Río González (zona V), los valores de la concentración de cobre fluctuaron entre 0.004 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 47) y 0.077 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 45). La mayor concentración de cobre se encontró en el muestreo M1 (época de nortes).

**Tabla 4.7. Resultados obtenidos para el Vanadio.**

No. de muestra	Zona	Localidad	V (mg/L)		
			Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III
1	I	Laguna Arrastradero	0.005	0.190	0.219
2			0.004	0.191	0.321
3			0.006	0.179	0.315
4			0.003	0.150	0.333
5			0.006	0.164	0.235
6			0.291	0.219	0.299
7	III	Puente Bugambilia	0.014	0.008	0.127
8	III	Puente Cobertizo	< 0.001	0.010	0.295
9	III	Río Seco e Islas	< 0.001	0.168	0.293
10			< 0.001	0.309	0.179
11			0.180	ND	ND
12			0.244	0.186	0.239
13			0.116	0.162	ND
14			0.021	0.216	0.254
15			0.029	0.328	0.259
16			II	Escollera Oeste y Dársena de Dos Bocas	0.022
17	0.007	ND			ND
18	0.012	0.360			0.357
19	0.014	0.374			0.384
20	0.009	0.429			0.361
21	0.006	0.388			0.348
22	III	Laguna Mecoacán	0.009	0.347	0.267
23			0.019	0.312	0.275
24			0.021	0.355	0.275
25			0.002	0.357	0.272
26			0.053	0.341	0.257
27			0.057	0.236	0.258
28			< 0.001	0.291	0.207
29			< 0.001	0.299	0.269
30			0.0003	0.323	0.201
31			0.026	0.181	0.126
32			ND	0.263	0.185
33			0.027	0.247	0.198
34			0.022	0.114	0.202
35			III	Laguna Tilapia	ND
36	0.020	0.169			0.177
37	0.004	ND			ND
38	III	laguna Negrita	0.002	0.125	0.100
39	III	Arroyo Hondo	0.008	0.151	0.003
40	III	Laguna Eslabón	ND	ND	ND
41	4	Laguna de Enmedio	0.007	0.002	ND
42	III	Laguna Tinaja	0.040	0.001	0.0004
43	V	Río González	0.033	0.002	ND
44			0.025	0.0003	0.001
45			0.028	0.019	0.004
46			ND	0.019	0.009
47			ND	0.030	0.182
48	IV	Laguna Troncón	ND	0.002	0.002
49	IV	Laguna Pomposú	ND	0.003	0.002
50	II	Canal Dos Bocas	ND	0.375	0.317

\*ND = no detectables

**Gráfica 4.15. Vanadio - zona I.**



En la Laguna Arrastradero, los valores de la concentración de vanadio fluctuaron entre 0.003 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 4) y 0.333 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 4). La gráfica 4.16 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de vanadio se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Tabla 4.8. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para la laguna Arrastradero (zona I) en los muestreos 1, 2 y 3.**

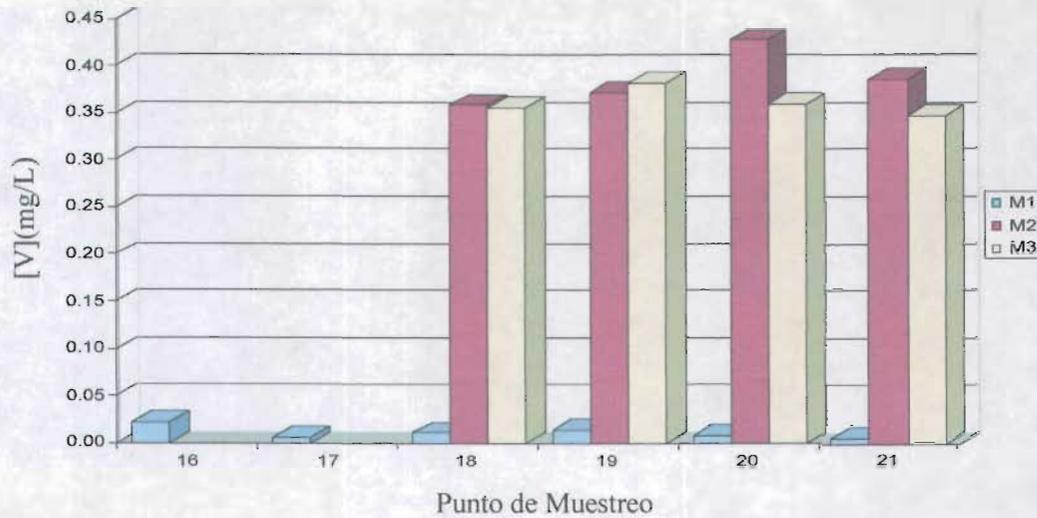
	V (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.003	0.150	0.219
Máximo	0.291	0.219	0.333
Promedio	0.053	0.182	0.287

**Gráfica 4.16. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para la laguna Arrastradero (zona I) en los muestreos 1, 2 y 3.**



**Gráfica 4.17. Vanadio - zona II.**

Zona II  
Escollera Oeste y Dársena de Dos Bocas

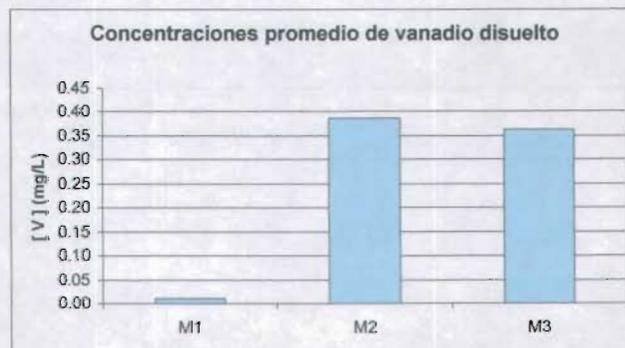


En el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas, los valores de la concentración de vanadio fluctuaron entre 0.006 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 21) y 0.429 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 20). La gráfica 4.18 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de vanadio se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

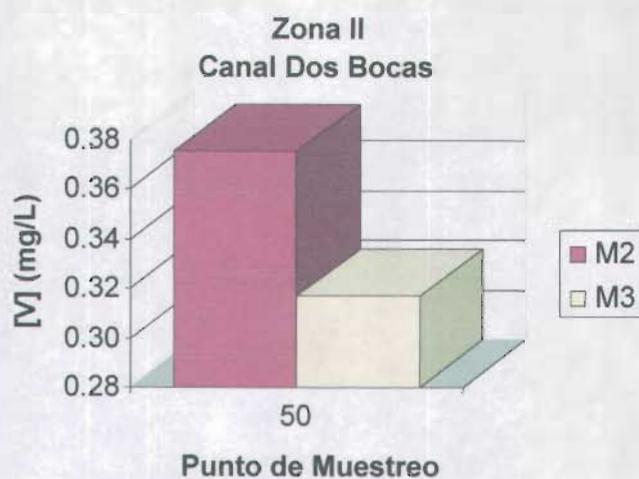
**Tabla 4.9. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas (zona II) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	V (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.006	0.360	0.348
Máximo	0.022	0.429	0.384
Promedio	0.012	0.388	0.362

**Gráfica 4.18. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas (zona II) en los muestreos 1, 2 y 3.**

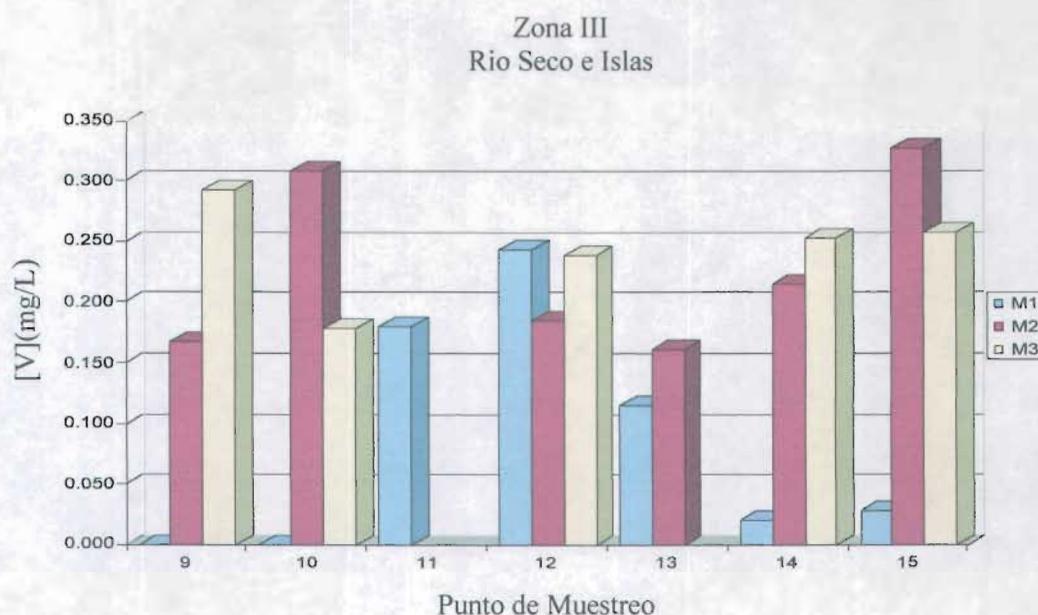


Gráfica 4.19. Vanadio - zona II.



En el canal de Dos Bocas, los valores de la concentración de vanadio fluctuaron entre 0.317 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 50) y 0.375 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 50). La mayor concentración de vanadio se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

**Gráfica 4.20. Vanadio - zona III.**

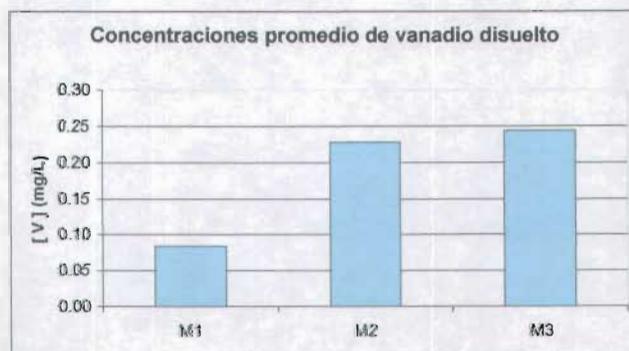


En la zona III (río Seco e Islas), los valores de la concentración de vanadio fluctuaron entre 0.001 mg/L (muestreo 1, estaciones de muestreo 9 y 10) y 0.328 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 15). La gráfica 4.21 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de vanadio se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

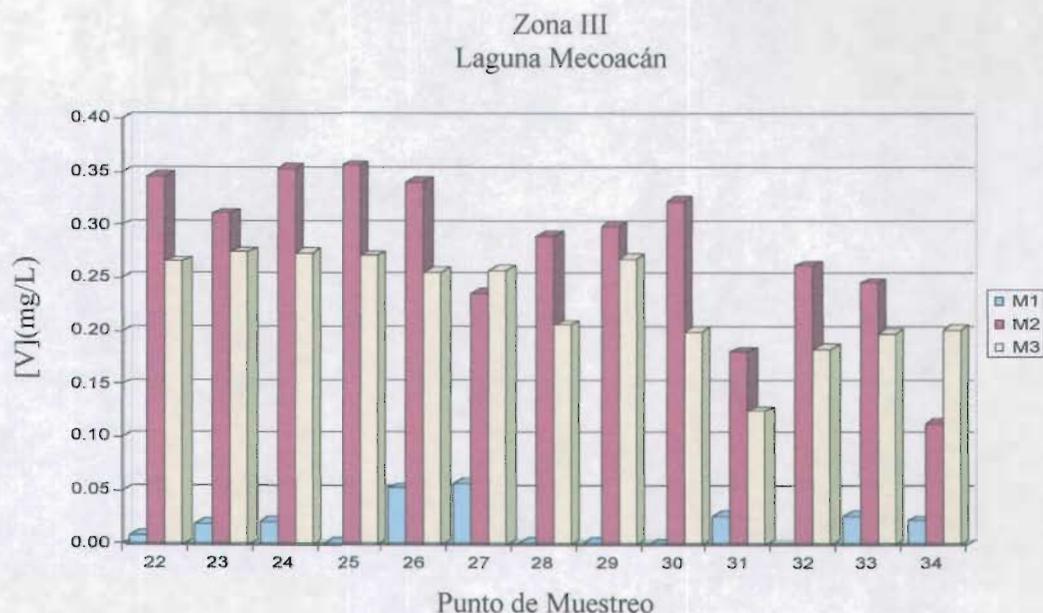
**Tabla 4.10. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para el río Seco e Islas (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	V (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.001	0.162	0.179
Máximo	0.244	0.328	0.293
Promedio	0.085	0.228	0.245

**Gráfica 4.21. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para el río Seco e Islas (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3**



**Gráfica 4.22 Vanadio-Zona III.**



En la laguna Mecoacán (zona III), los valores de la concentración de vanadio fluctuaron entre 0.0003 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 30) y 0.357 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 25). La gráfica 4.23 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de vanadio se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

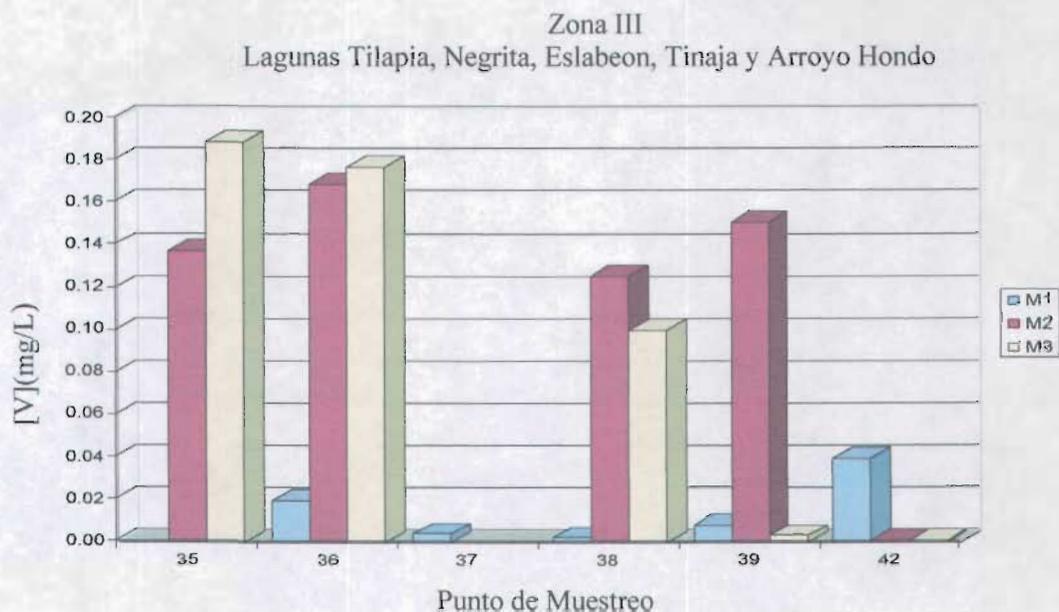
**Tabla 4.11 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para la laguna Mecoacán (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	V (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.0003	0.114	0.126
Máximo	0.057	0.357	0.275
Promedio	0.020	0.282	0.230

**Gráfica 4.23 Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para la laguna Mecoacán (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**



**Gráfica 4.24. Vanadio - zona III.**



En las lagunas Tilapia, Negrita, Eslabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III), los valores de la concentración de vanadio fluctuaron entre 0.0004 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 42) y 0.189 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 35). La gráfica 4.25 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de vanadio se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

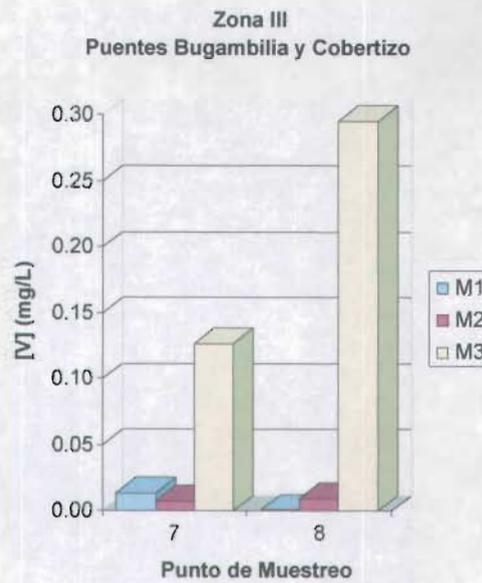
**Tabla 4.12. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para las lagunas Tilapia, Negrita, Eslabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	V (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.002	0.001	0.0004
Máximo	0.040	0.169	0.189
Promedio	0.015	0.117	0.094

**Gráfica 4.25. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de vanadio para las lagunas Tilapia, Negrita, Eslabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

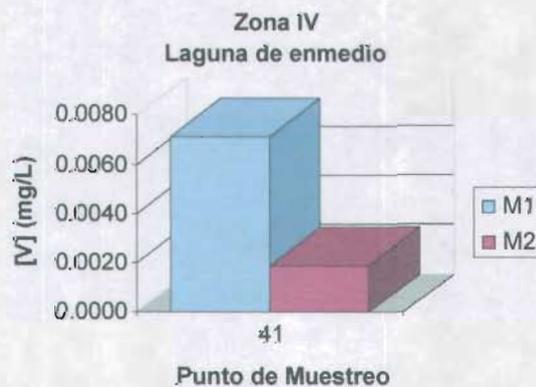


**Gráfica 4.26. Vanadio - zona III.**



En los puentes Bugambilia y Cobertizo (Zona III), los valores de la concentración de vanadio fluctuaron entre 0.001 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 8) y 0.295 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 8). La mayor concentración de vanadio se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Gráfica 4.27. Vanadio-zona IV.**



En la laguna de Enmedio (zona IV), los valores de la concentración de vanadio fluctuaron entre 0.002 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 41) y 0.007 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 41). La mayor concentración de vanadio se encontró en el muestreo M1 (época de Nortes).

Gráfica 4.28. Vanadio - zona V.



En el río Gonzáles (zona V), los valores de la concentración de vanadio fluctuaron entre 0.0003 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 44) y 0.182 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 47). La mayor concentración de vanadio se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Tabla 4.13. Resultados obtenidos para el Níquel.**

No. de muestra	Zona	Localidad	Ni (mg/L)		
			Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III
1	I	Laguna Arrastradero	0.038	0.033	0.777
2			0.049	0.044	0.023
3			0.034	0.035	0.024
4			0.021	0.040	0.024
5			0.029	0.027	0.023
6			0.085	0.040	0.026
7	III	Puente Bugambilia	0.605	ND	ND
8	III	Puente Cobertizo	0.724	ND	ND
9	III	Río Seco e Islas	1.153	0.073	0.027
10			0.840	0.051	0.091
11			0.336	0.044	0.048
12			0.293	0.064	0.032
13			0.159	0.006	0.014
14			0.015	0.005	0.015
15			0.043	0.050	0.016
16	II	Escollera Oeste y Dársena de Dos Bocas	0.032	0.045	0.027
17			6.804	ND	ND
18			11.083	0.026	0.046
19			0.612	0.040	ND
20			0.602	0.045	0.046
21			0.946	0.029	0.586
22	III	Laguna Mecoacán	0.216	0.076	0.016
23			5.372	0.082	0.014
24			1.081	0.075	0.052
25			0.481	0.054	0.023
26			5.620	0.092	0.024
27			4.344	0.071	0.029
28			0.312	0.083	0.024
29			0.306	0.108	0.034
30			0.446	0.103	0.050
31			1.707	0.063	0.022
32			ND	0.019	0.040
33			9.651	0.020	0.038
34			9.449	0.016	0.054
35	III	Laguna Tilapia	ND	0.020	0.044
36			0.938	0.022	0.051
37			0.601	ND	ND
38	III	laguna Negrita	0.195	0.026	0.032
39	III	Arroyo Hondo	0.329	0.046	0.0003
40	III	Laguna Eslabón	0.363	0.001	ND
41	IV	Laguna de Enmedio	2.557	$7.48 \times 10^{-5}$	0.010
42	III	Laguna Tinaja	2.444	$1.23 \times 10^{-6}$	ND
43	V	Río González	3.190	0.001	ND
44			2.781	$1.23 \times 10^{-6}$	ND
45			11.277	0.005	0.036

\*ND = no detectables

**Gráfica 4.29. Níquel - zona I.**

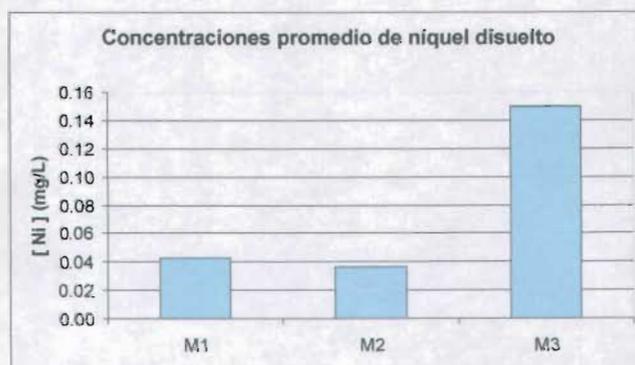


En la laguna Arrastradero, los valores de la concentración de níquel fluctuaron entre 0.021 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 4) y 0.777 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 1). La gráfica 4.30 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de níquel se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Tabla 4.14. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para la laguna Arrastradero (zona I) en los muestreos 1, 2 y 3.**

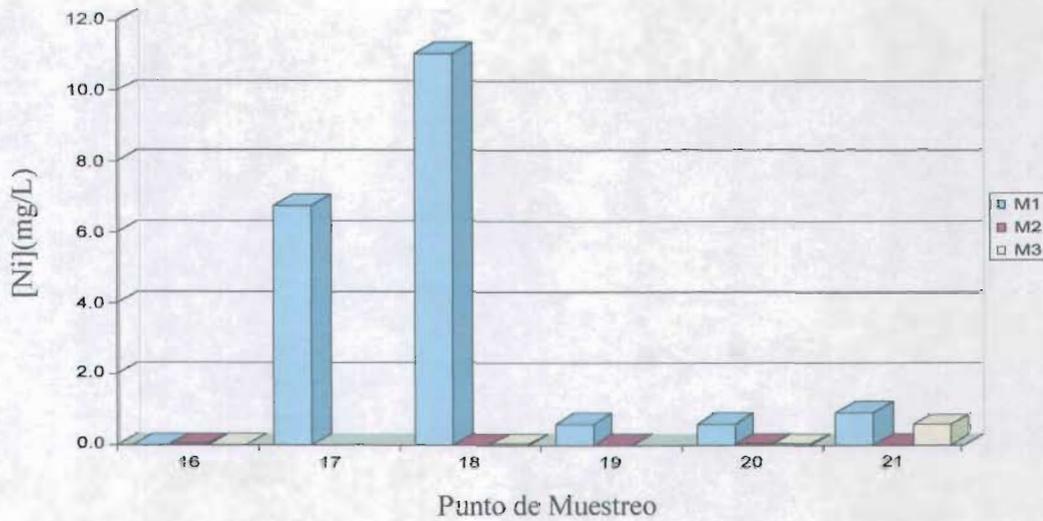
	Ni (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.021	0.027	0.023
Máximo	0.085	0.044	0.777
Promedio	0.043	0.036	0.150

**Gráfica 4.30. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para la laguna Arrastradero (zona I) en los muestreos 1, 2 y 3.**



**Gráfica 4.31. Níquel - zona II.**

Zona II  
Escollera Oeste y Dársena de Dos Bocas

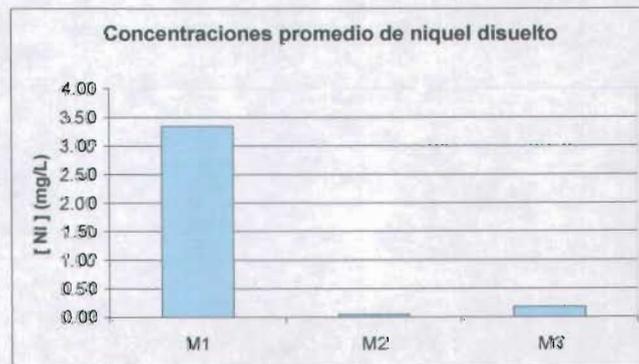


En el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas, los valores de la concentración de níquel fluctuaron entre 0.026 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 18) y 11.08 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 18). La gráfica 4.32 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de níquel se encontró en el muestreo M1 (época de nortes).

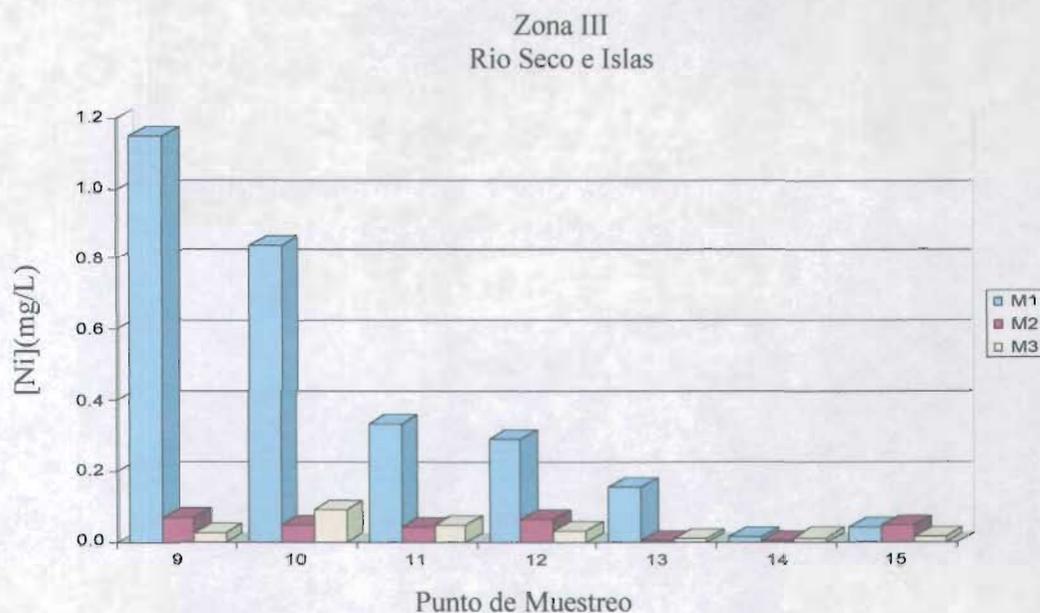
**Tabla 4.15. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas (zona II) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	Ni (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.032	0.026	0.027
Máximo	11.083	0.045	0.586
Promedio	3.346	0.037	0.176

**Gráfica 4.32. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas (zona II) en los muestreos 1, 2 y 3.**



**Gráfica 4.33. Níquel - zona III.**



En la zona III (río Seco e Islas), los valores de la concentración de níquel fluctuaron entre 0.005 mg/L (muestreo 2, estaciones de muestreo 14) y 1.153 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 9). La gráfica 4.34 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de níquel se encontró en el muestreo M1 (época de nortes).

**Tabla 4.16. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para el río Seco e Islas (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	Ni (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.015	0.005	0.014
Máximo	1.153	0.073	0.091
Promedio	0.406	0.042	0.035

**Gráfica 4.34. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para el río Seco e Islas (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3**



**Gráfica 4.35. Níquel - zona III.**

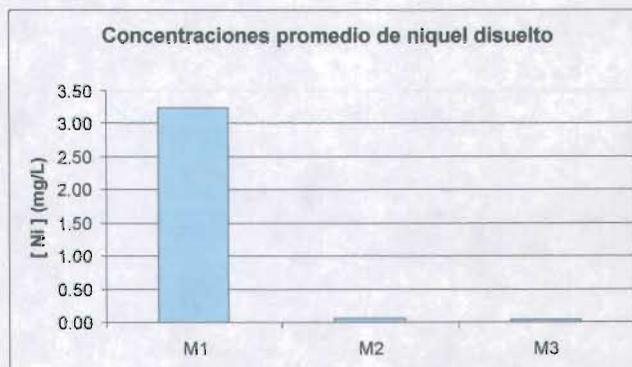


En la laguna Mecoacán (zona III), los valores de la concentración de níquel fluctuaron entre 0.014 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 23) y 9.651 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 33). La gráfica 4.36 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de níquel se encontró en el muestreo M1 (época de nortes).

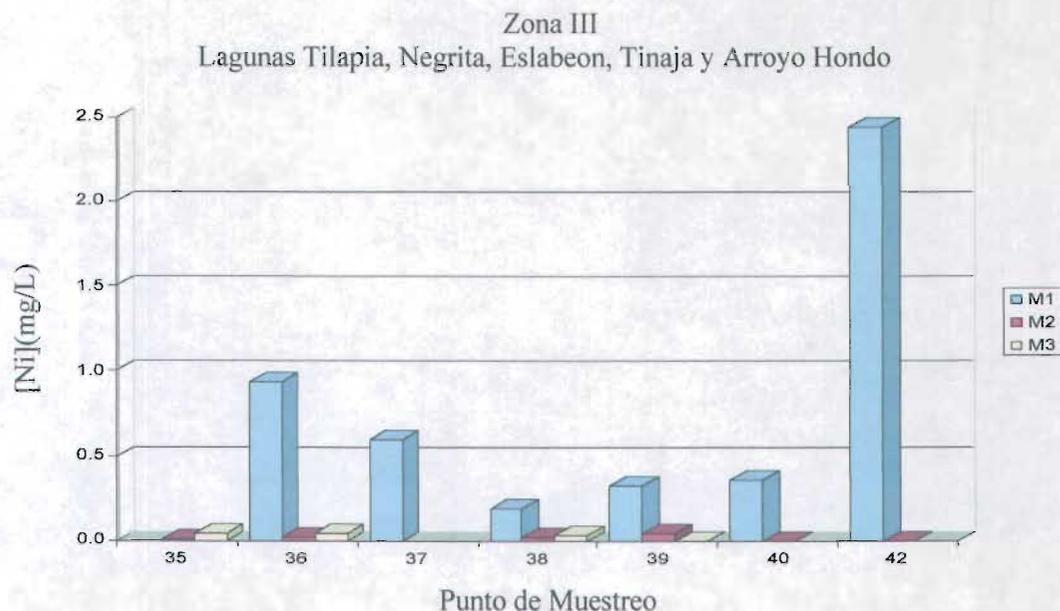
**Tabla 4.17. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para la laguna Mecoacán (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	Ni (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.216	0.016	0.014
Máximo	9.651	0.108	0.054
Promedio	3.249	0.066	0.032

**Gráfica 4.36. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para la laguna Mecoacán (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**



**Gráfica 4.37. Níquel - zona III.**



En las lagunas Tilapia, Negrita, Eslabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III), los valores de la concentración de níquel fluctuaron entre 0.0001 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 42) y 2.444 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 42). La gráfica 4.38 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de níquel se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

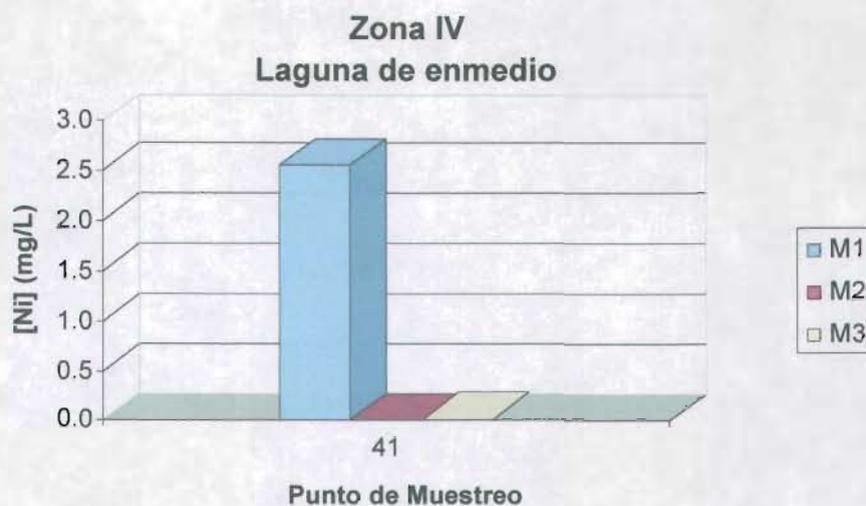
**Tabla 4.18. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para las lagunas Tilapia, Negrita, Eslabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	Ni (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.195	0.0001	0.0003
Máximo	2.444	0.046	0.051
Promedio	0.812	0.019	0.032

**Gráfica 4.38. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de níquel para las lagunas Tilapia, Negrita, Eslabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

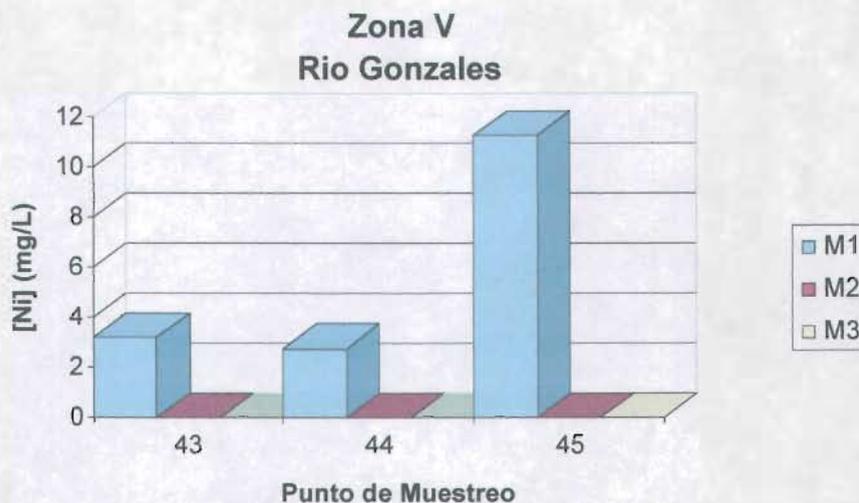


**Gráfica 4.39. Níquel - zona IV.**



En el río Gonzáles (zona V), los valores de la concentración de níquel fluctuaron entre  $1.23E-06$  mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 44) y 11.277 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 45). La mayor concentración de níquel se encontró en el muestreo M1 (época de Nortes).

**Gráfica 4.40. Níquel-zona V.**



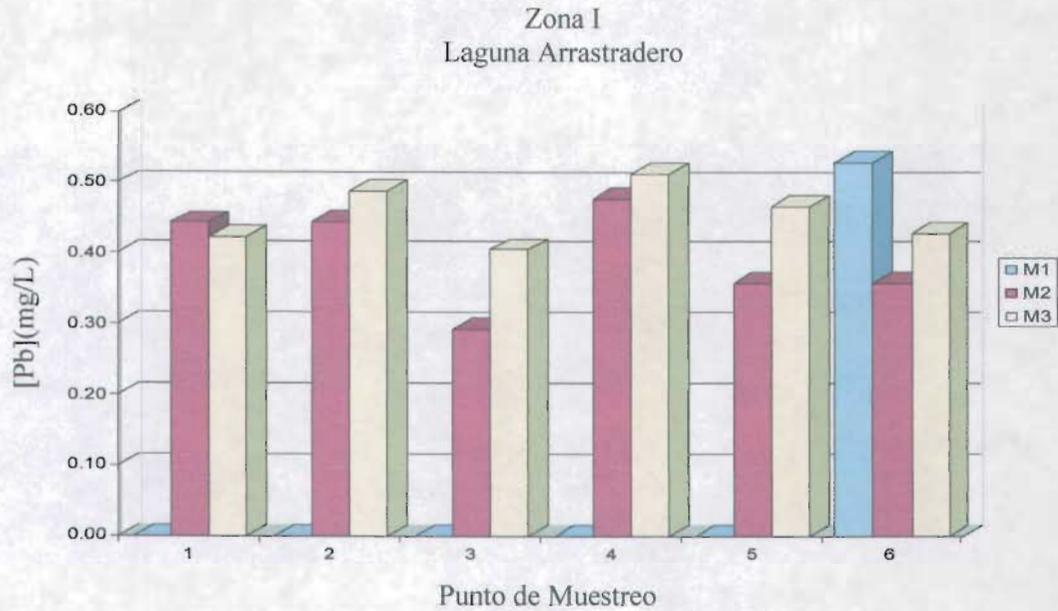
En la laguna de Enmedio (zona IV), los valores de la concentración de níquel fluctuaron entre  $1.23E-06$  mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 41) y 2.557 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 41). La mayor concentración de níquel se encontró en el muestreo M1 (época de Nortes).

**Tabla 4.19. Resultados obtenidos para el Plomo.**

No. de muestra	Zona	Localidad	Pb (mg/L)		
			Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III
1	I	Laguna Arrastradero	0.001	0.444	0.424
2			< 0.001	0.446	0.489
3			< 0.001	0.295	0.407
4			< 0.001	0.479	0.513
5			< 0.001	0.360	0.467
6			0.530	0.360	0.429
7	III	Puente Bugambilia	0.022	0.026	0.270
8	III	Puente Cobertizo	< 0.001	0.029	0.468
9	III	Río Seco e Islas	< 0.001	0.351	0.394
10			< 0.001	0.566	0.397
11			0.236	ND	ND
12			0.326	0.762	0.326
13			0.232	0.648	ND
14			0.237	0.725	0.382
15	0.378	1.018	0.340		
16	II	Escollera Oeste y Dársena de Dos Bocas	0.168	ND	ND
17			0.144	ND	ND
18			0.380	0.618	0.494
19			0.294	0.773	0.511
20			0.120	0.600	0.484
21			0.102	0.584	0.512
22	III	Laguna Mecoacán	0.063	0.649	0.434
23			0.209	0.421	0.418
24			0.195	0.444	0.426
25			0.006	0.497	0.368
26			0.202	0.422	0.336
27			0.188	0.470	0.403
28			0.004	0.432	0.338
29			0.003	0.416	0.377
30			0.014	0.426	0.318
31			0.429	0.457	0.226
32			0.462	0.402	0.228
33			0.523	0.367	0.344
34	0.052	0.385	0.277		
35	III	Laguna Tilapia	0.024	0.418	0.287
36			ND	0.446	0.300
37			ND	ND	ND
38	III	laguna Negrita	0.002	0.514	0.272
39	III	Arroyo Hondo	0.017	0.439	0.017
40	III	Laguna Eslabón	0.028	0.027	0.003
41	IV	Laguna de Enmedio	0.022	0.000	0.002
42	III	Laguna Tinaja	0.448	0.006	0.005
43	V	Río González	0.477	0.001	0.123
44			0.325	0.002	0.009
45			0.384	0.010	0.064
46			ND	0.015	0.033
47			ND	0.036	0.282
48	IV	Laguna Troncón	ND	0.003	0.007
49	IV	Laguna Pomposú	ND	ND	ND
51	II	Canal Dos Bocas	ND	0.672	0.444

\*ND = no detectables

**Gráfica 4.41. Plomo-zona I.**

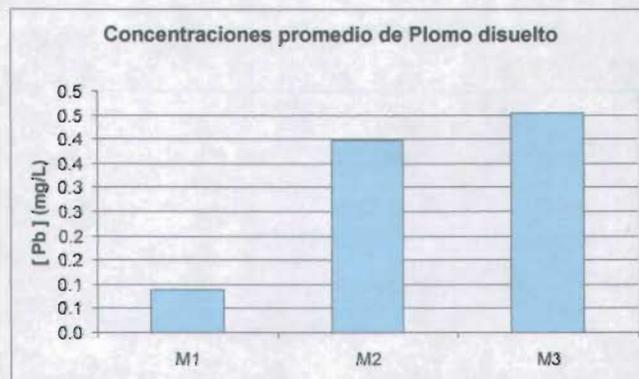


En la laguna Arrastradero, los valores de la concentración de plomo fluctuaron entre 0.0006 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 1) y 0.530 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 6). La gráfica 4.42 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de plomo se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Tabla 4.20. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para la laguna Arrastradero (zona I) en los muestreos 1, 2 y 3.**

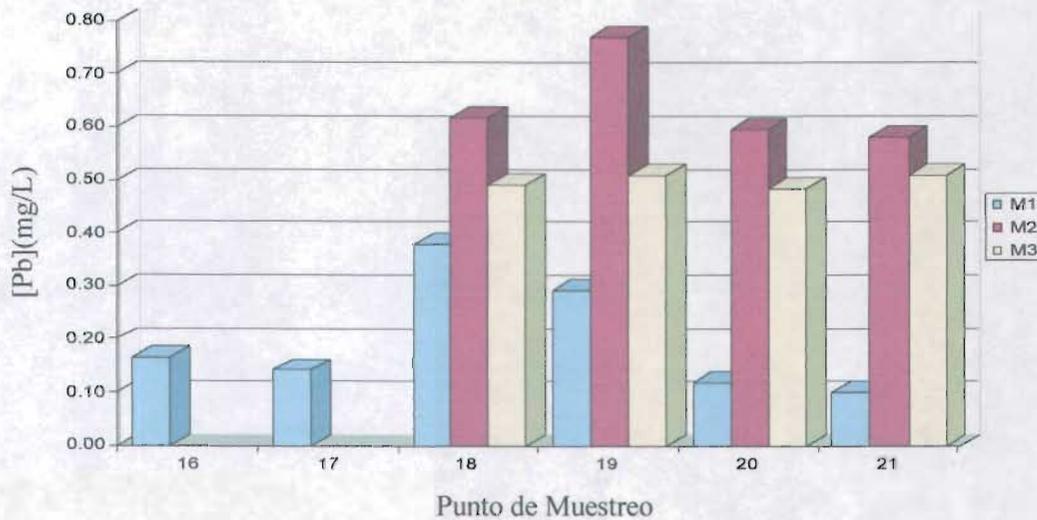
	Pb (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.0006	0.295	0.407
Máximo	0.530	0.479	0.513
Promedio	0.089	0.397	0.455

**Tabla 4.42. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para la laguna Arrastradero (zona I) en los muestreos 1, 2 y 3.**



**Gráfica 4.43. Plomo - zona II.**

Zona II  
Escollera Oeste y Dársena de Dos Bocas

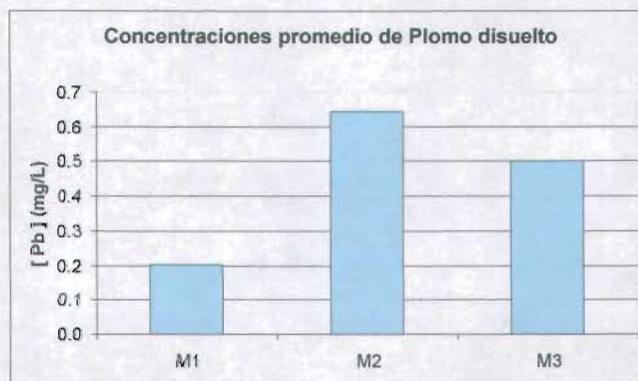


En la Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas, los valores de la concentración de plomo fluctuaron entre 0.102 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 21) y 0.773 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 19). La gráfica 4.44 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de plomo se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

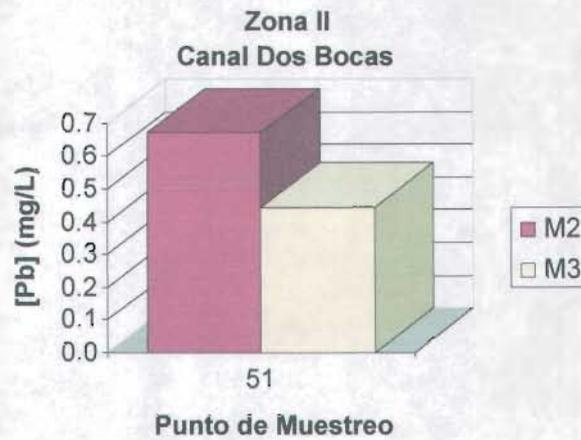
**Tabla 4.21. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas (zona II) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	Pb (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.102	0.584	0.484
Máximo	0.380	0.773	0.512
Promedio	0.201	0.644	0.500

**Gráfica 4.44. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para el Escollera Oeste y la Dársena de Dos Bocas (zona II) en los muestreos 1, 2 y 3.**

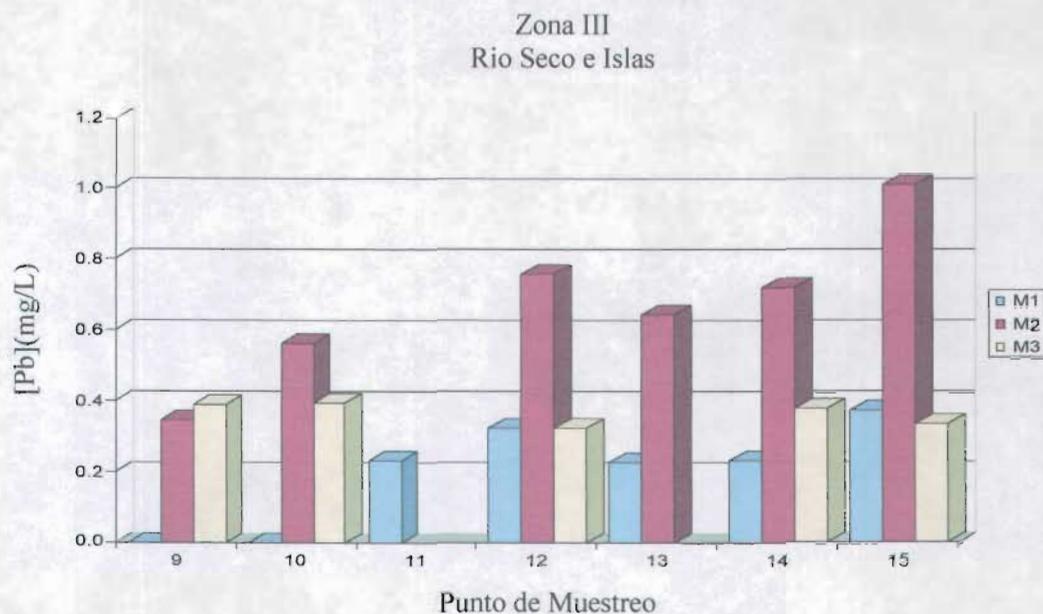


Gráfica 4.45. Plomo - zona II.



En el canal de Dos Bocas, los valores de la concentración de plomo fluctuaron entre 0.444 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 51) y 0.672 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 51). La mayor concentración de plomo se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

**Gráfica 4.46. Plomo - zona III.**



En la zona III (río Seco e Islas), los valores de la concentración de plomo fluctuaron entre 0.001 mg/L (muestreo 1, estaciones de muestreo 9 y 10) y 1.018 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 15). La gráfica 4.47 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de plomo se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

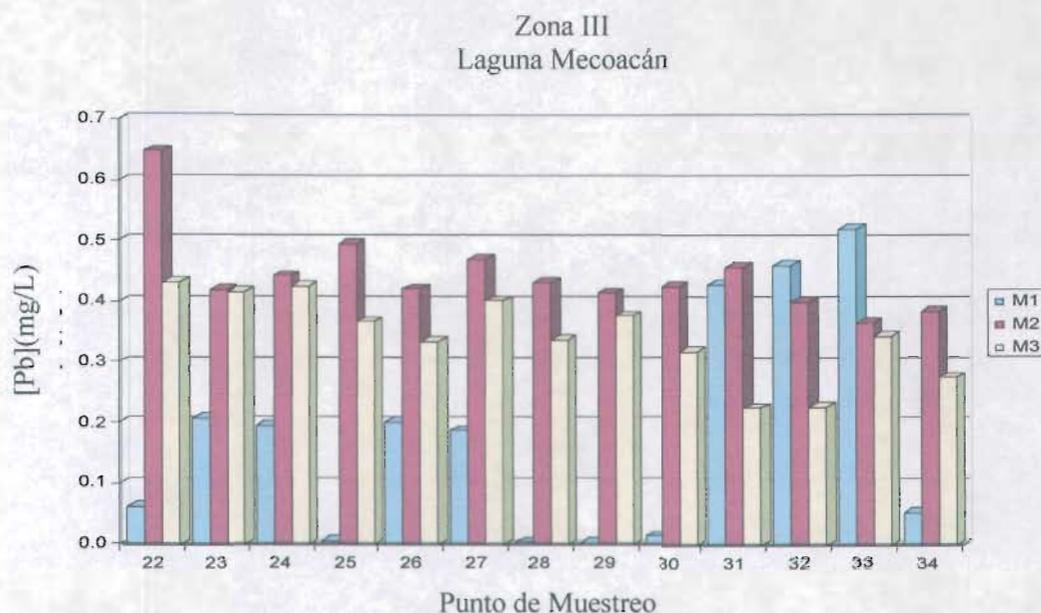
**Tabla 4.22. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para el río Seco e Islas (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3**

	Pb (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.001	0.351	0.326
Máximo	0.378	1.018	0.397
Promedio	0.201	0.678	0.368

**Gráfica 4.47. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para el río Seco e Islas (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**



**Gráfica 4.48. Metales disueltos, Plomo - Zona III.**

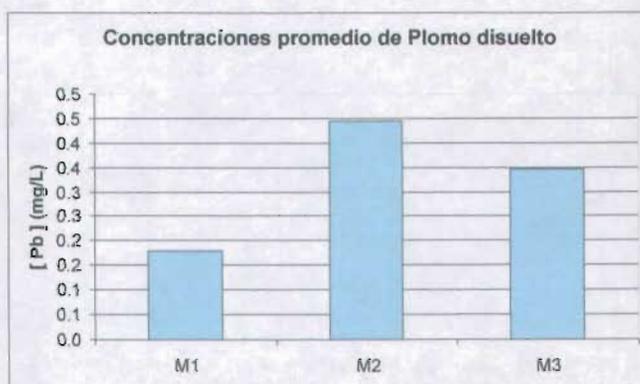


En la Laguna Mecoacán (Zona III), los valores de la concentración de plomo disuelto fluctuaron entre 0.003 mg/L (Muestreo 1, estación de muestreo 29) y 0.649 mg/L (Muestreo 2, estación de muestreo 22). La gráfica 4.49 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de plomo disuelto se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

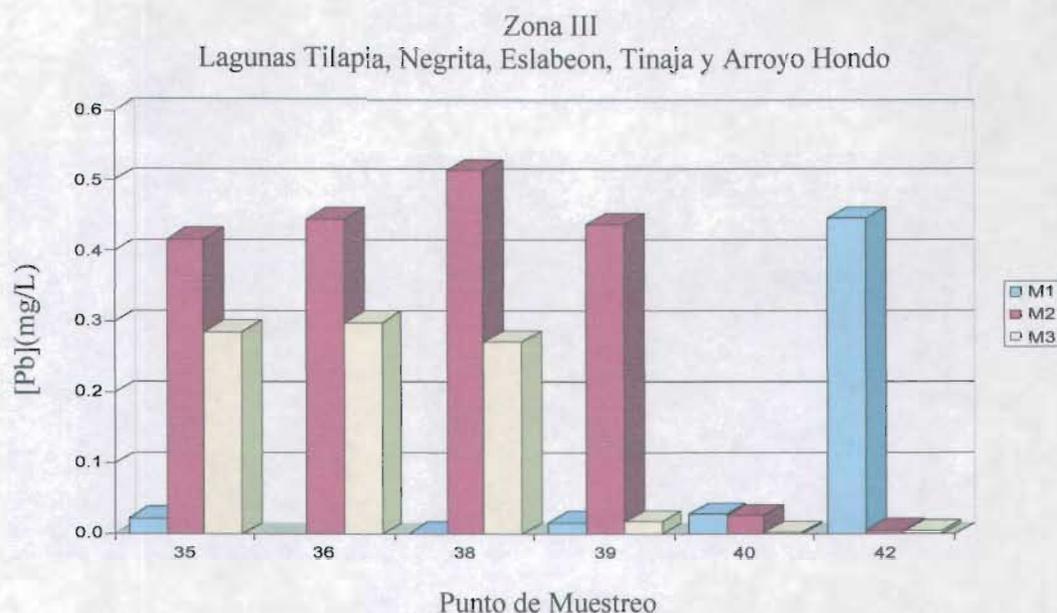
**Tabla 4.23. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para la Laguna Mecoacán (zona III) en los muestreos 1,2 y 3.**

	Pb (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.003	0.367	0.226
Máximo	0.523	0.649	0.434
Promedio	0.181	0.445	0.346

**Gráfica 4.49. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para la Laguna Mecoacán (zona III) en los muestreos 1,2 y 3.**



**Gráfica 4.50. Plomo - zona III.**

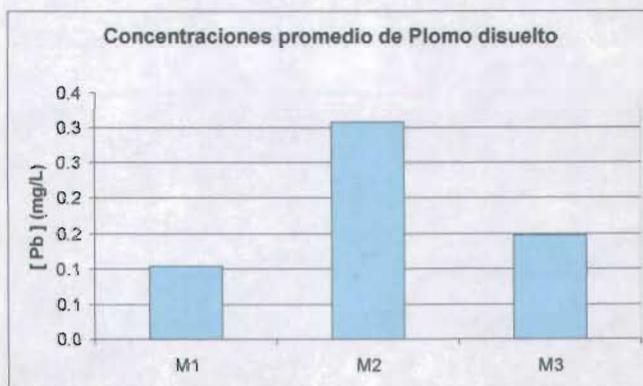


En las lagunas Tilapia, Negrita, Esclabón, Tinaja y Arroyo Hondo (Zona III), los valores de la concentración de plomo fluctuaron entre 0.002 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 38) y 0.514 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 38). La gráfica 4.51 muestra los valores promedio para cada muestreo. La mayor concentración promedio de plomo se encontró en el muestreo M2 (época de secas).

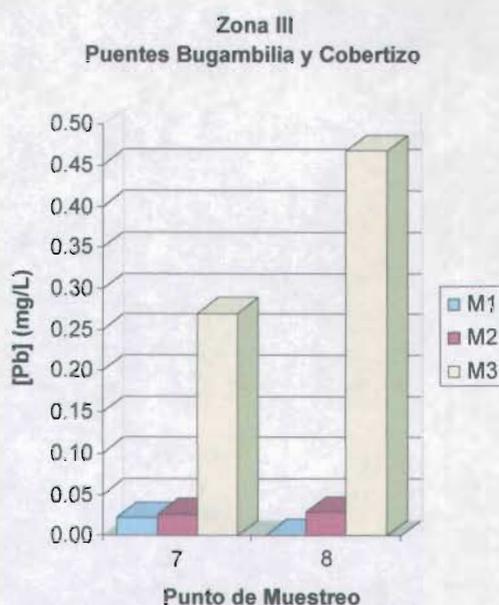
**Tabla 4.24. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para las lagunas Tilapia, Negrita, Esclabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**

	Pb (mg/L)		
	M1	M2	M3
Mínimo	0.002	0.0056	0.0029
Máximo	0.448	0.514	0.300
Promedio	0.104	0.308	0.147

**Gráfica 4.51. Concentraciones máximas, mínimas y promedio de plomo para las lagunas Tilapia, Negrita, Esclabón, Tinaja y Arroyo Hondo (zona III) en los muestreos 1, 2 y 3.**



**Gráfica 4.52. Plomo - zona III.**



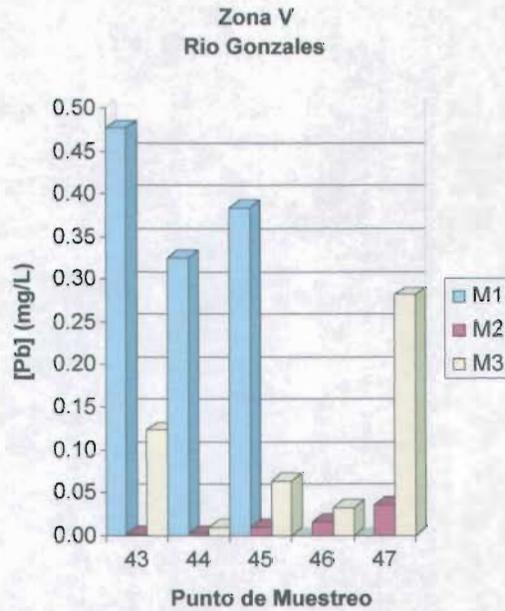
En los puentes Bugambilia y Cobertizo (zona III), los valores de la concentración de plomo fluctuaron entre 0.001 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 8) y 0.468 mg/L (muestreo 3, estación de muestreo 8). La mayor concentración de plomo se encontró en el muestreo M3 (época de lluvias).

**Gráfica 4.53. Plomo - zona IV.**



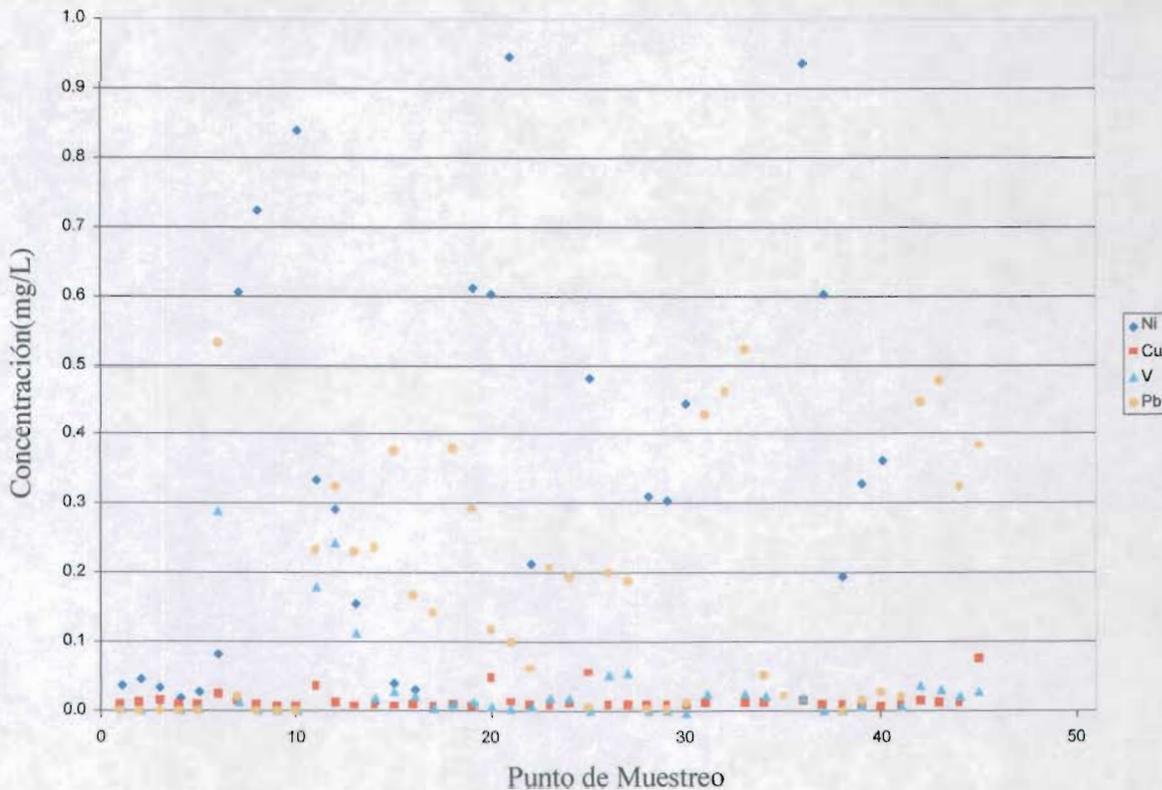
En la laguna de Enmedio (zona IV), los valores de la concentración de plomo fluctuaron entre 0.0003 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 41) y 0.022 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 41). La mayor concentración de plomo se encontró en el muestreo M1 (época de Nortes).

Gráfica 4.54. Plomo - zona V.

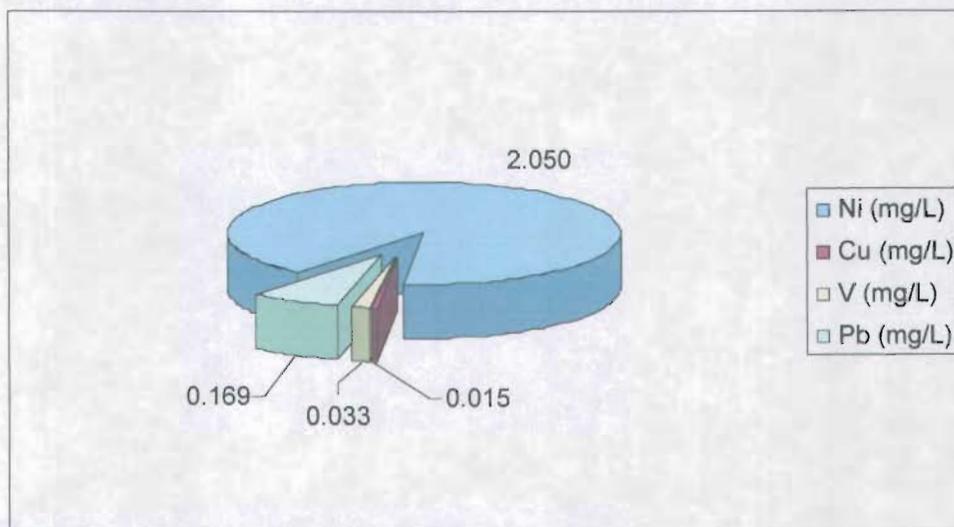


En el río Gonzáles (Zona V), los valores de la concentración de plomo fluctuaron entre 0.001 mg/L (muestreo 2, estación de muestreo 43) y 0.477 mg/L (muestreo 1, estación de muestreo 43). La mayor concentración de plomo se encontró en el muestreo M1 (época de Nortes).

**Gráfica 4.55. Concentraciones de Cu, V, Ni, Pb para el muestreo I.**

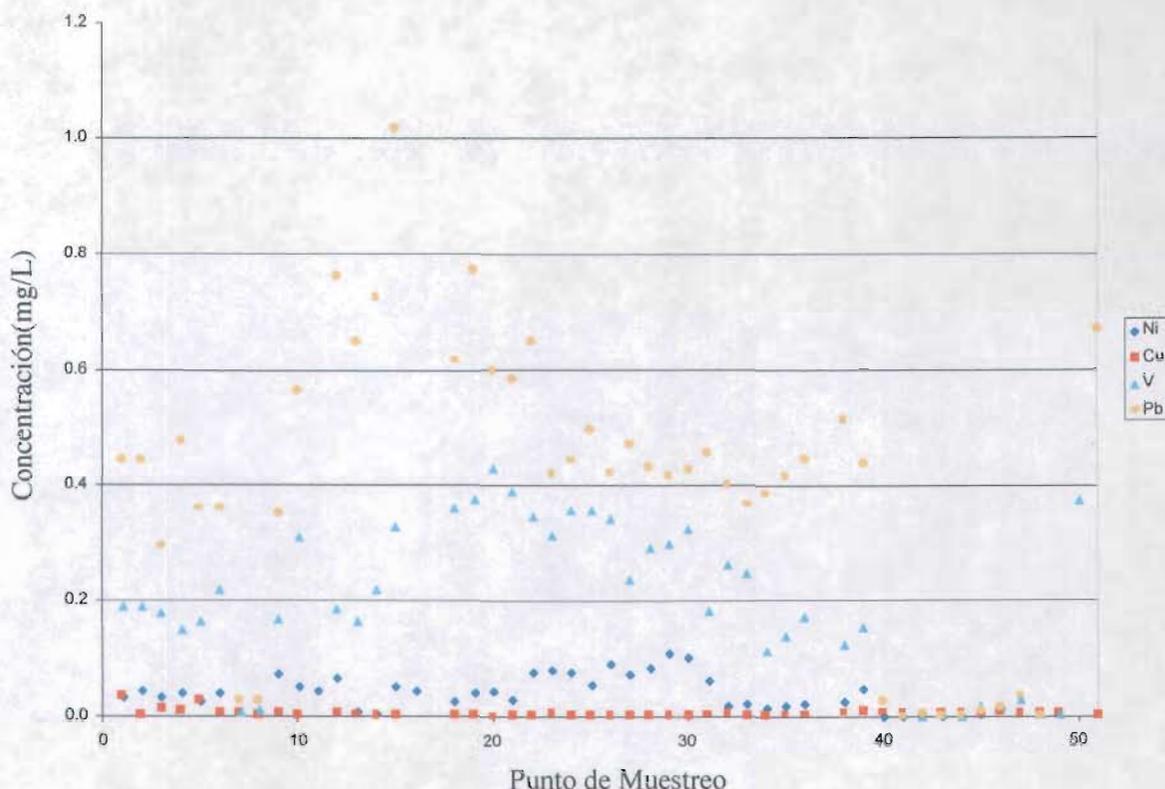


**Gráfica 4.56. Concentraciones promedio de níquel, cobre, vanadio y plomo para el muestreo 1.**

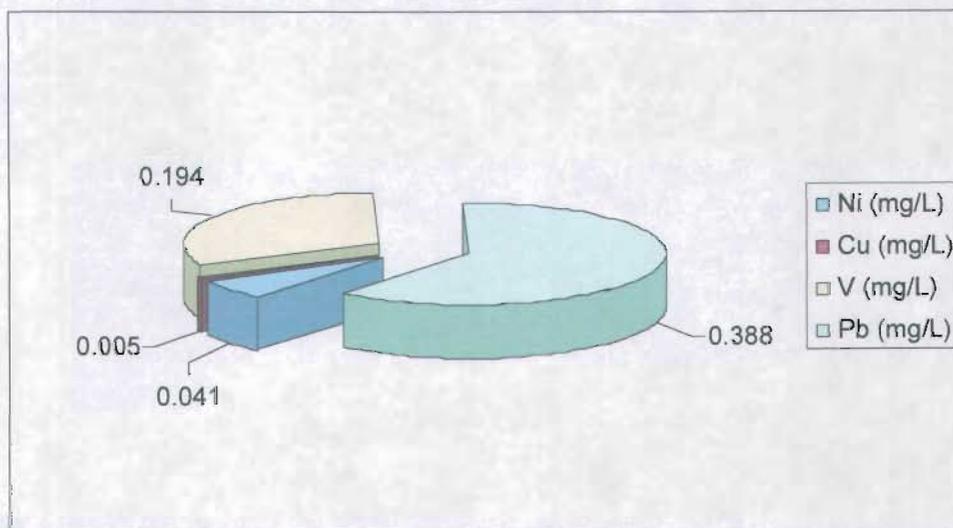


En la gráfica anterior se puede observar que el níquel es el metal que presentó las concentraciones más altas durante la época de nortes. En este muestreo, los límites máximos permisibles para Ni (10 mg/L) se sobrepasaron en 8 estaciones. Los de vanadio (0.001 mg/L) en 4 estaciones y los de plomo (0.0015) en 35. La concentración promedio de plomo sobrepasa por 112% el límite máximo permisible.

**Gráfica 4.57. Concentraciones de Cu, V, Ni, Pb para el muestreo I.**

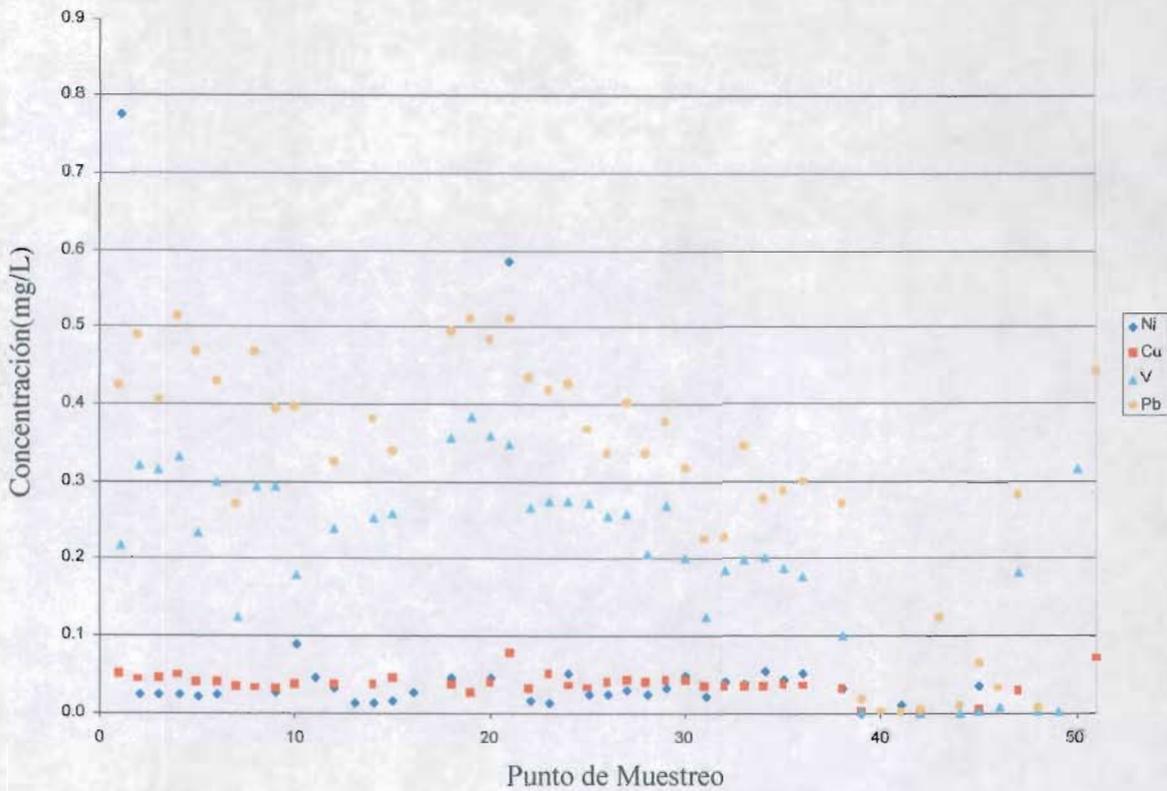


**Gráfica 4.58. Concentraciones promedio de níquel, cobre, vanadio y plomo para el muestreo 2.**

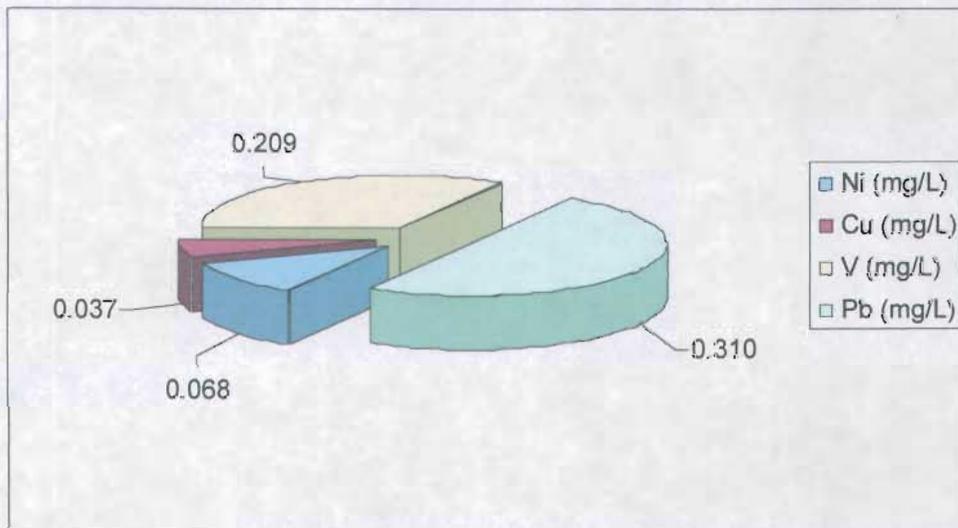


En la gráfica anterior se puede observar que el plomo es el metal que presentó las concentraciones más altas durante la época de secas. En este muestreo, los límites máximos permisibles para el vanadio se sobrepasaron en 34 estaciones. Su concentración promedio sobrepasó el límite por 1.9%. El límite para el plomo fue superado en 43 estaciones. La concentración promedio sobrepasó el límite por 259%.

**Gráfica 4.59. Concentraciones de Cu, V, Ni, Pb. para el muestreo III.**



**Gráfica 4.58. Concentraciones promedio de níquel, cobre, vanadio y plomo para el muestreo 3.**



En la gráfica anterior se puede observar que el plomo es el metal que presentó las Concentraciones más altas durante la época de lluvias. En este muestreo, los límites máximos permisibles para el vanadio se sobrepasaron en 34 estaciones. Su concentración promedio sobrepasó el límite por 2.1%. El límite para el plomo fue superado en 44 estaciones. La concentración promedio sobrepasó el límite por 207%.

## **Conclusiones**

Los resultados obtenidos de las mediciones de concentración de metales disueltos en la laguna Mecoacán y sus alrededores indican que la época del año influye de manera considerable en estos valores con una influencia diferente para cada metal analizado. En la época de nortes (muestreo 1) la contaminación por níquel fue mayor que para los otros metales, pero solo sobrepasó los límites permisibles en unas cuantas estaciones. En la época de secas (muestreo 2) y de lluvias (muestreo 3) el níquel no se presentó en concentraciones fuera de la norma. La época de nortes para el plomo y el vanadio fue la época en la que se presentaron las menores concentraciones. Las concentraciones de cobre no fueron importantes en ninguna de las épocas muestreadas y en ninguna estación se presentaron valores mayores a los de la norma. El plomo en los tres muestreos presentó una concentración promedio mayor a los límites permisibles. La concentración promedio de vanadio sobrepasó los límites en los muestreos II y III.

Estos resultados muestran que la contaminación por plomo y vanadio, metales considerados como tóxicos, sobrepasa los límites máximos permisibles durante la mayor parte del año y que por lo tanto deben ser monitoreados y controlados para disminuir el impacto de estos metales sobre el ecosistema de la laguna Mecoacán.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILERA, G., F. A., 1977. "Contribución alo conocimiento hidrológico de la laguna Mecoacán, Puerto Ceiba, Tabasco". Tesis Profesional, UACB. 83 pp.
2. ALDECO, J. Y SALAS, DE L.D., 1994. "Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano: Física". En: De la Lanza E.G. y Cáceres M.C. (Ed). Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano, Universidad Autónoma de Baja California Sur. 673 pp.
3. CHAMIZO, J., A. Y GARRITZ, A., 1994. "Química". 856 pp.
4. CENTRO DE ECODesarrollo. 1981. "Las Lagunas Costeras de Tabasco: un ecosistema en peligro" México. 109 pp.
5. GALAVÍZ, S., A., M. GUTIÉRREZ E. Y A. CASTRO, R., 1987. "Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco, México". An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol UNAM. 12 pp.
6. DIARIO OFICIAL., Publicación: del 18 de octubre de 1993. Norma oficial mexicana.
7. DUFFUS, 1983. "Toxicología Ambiental". Ed. Omega. 232 pp.
8. FREDERICK, W., 1978. "Toxicity of metals in the Environment". Parte I y II., Dekker editor. USA. 472 pp.
9. HARRIS, D., C., 1992. "Análisis Químico Cuantitativo". Grupo Editorial Iberoamericana. 886 pp.
10. LAMARCK, M., 1819 "Trace metals on the Algarve coast", 465 pp.
11. LANKFORD, R. 1977. "Costal lagoons, their origin and classification". Academia Press Inc. USA .182-215 pp.
12. LAWS, 1981. "Aquatic pollution" .Ed. John Wilwy & Sons. 81 pp.

13. MARGALEF, R. 1986 "Limnología". Omega. Barcelona. 1010 pp.
14. MILLERO, F. y SHON, M., 1992 "Chemical Oceanography". N.W., Florida USA.
15. NOAA. 1999. "NOAA Screening Quick Reference Tables". USA National Oceanic and Atmospheric Administration. 12 pp.
16. PSUTY, N. P., 1966 "The geomorphology of beach ridges in Tabasco, México". USA. 51 pp.
17. RILEY, J y CHESTER, R. 1989. "Introducción a la Química Marina" AGT EDITOR, S.A. México. 384 pp.
18. RUBINSON, K., A., 2001. "Análisis Instrumental" Prentice Hall. 188pp
19. SANCHEZ, M., 1989. "Determinación de Metales Traza en Agua de Mar por Espectrofotometría de Absorción Atómica". Tesis UNAM. México. 68 pp.
20. VILLANUEVA, F., S, y BOTELLO A., B., 1998. "Pollution by metals in coastal areas of Mexico". Rev. Environ. Contam. Toxicol. 94 pp.

#### PAGINAS EN INTERNET

[www.bcct-unam.com.mx](http://www.bcct-unam.com.mx)  
[www.biblioweb.dgsca.unam.mx](http://www.biblioweb.dgsca.unam.mx)  
[www.cna.gob.com](http://www.cna.gob.com)  
[www.comercori.com](http://www.comercori.com)  
[www.fundaciontabasco.org.mx](http://www.fundaciontabasco.org.mx)  
[www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)  
[www.laregion.com.mx](http://www.laregion.com.mx)  
[www.mda.cinvestav.mx](http://www.mda.cinvestav.mx)  
[www.ola.icmyl.unam.mx](http://www.ola.icmyl.unam.mx)  
[www.redescolar.ilce.edu.mx](http://www.redescolar.ilce.edu.mx)  
[www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)  
[www.secovam-labaind.com](http://www.secovam-labaind.com)  
[www.semarnat.com.mx](http://www.semarnat.com.mx)  
[www.tabasco.gob.mx](http://www.tabasco.gob.mx)