



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

1  
Zey

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"

# FALLA DE ORIGEN

EVALUACION DEL CONTENIDO DE ALGUNOS METALES PESADOS EN ONCE BANCOS OSTRICOLAS EN LA LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMAULIPAS, MEXICO.



**T E S I S**

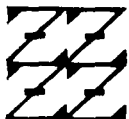
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**B I O L O G O**

P R E S E N T A

**GRACIELA AGUILERA LOZANO**

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



LO HUBIERA C/2  
DE NUESTRA SELECCION

MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE DE 1995



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 está 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.

**A MIS PADRES:**

CON PROFUNDA GRATITUD Y CARIÑO  
POR SU APOYO Y CONFIANZA QUE  
ME ESTIMULARON PARA TERMINAR MI  
CARRERA.

**A MIS HERMANOS:**

POR SU CONSTANTE APOYO.

**A OSCAR:**

POR SU AMOR, APOYO Y COMPRESION.

**A MIS HIJOS:**

DIANA Y LUIS EDUARDO  
POR QUE LOGREN ALCANZAR LAS METAS  
QUE AMBICIONEN EN LA VIDA.

**A SILVIA:**

POR SU APOYO Y AMISTAD INCONDICIONAL.

## **AGRADECIMIENTOS**

Hago patente mi agradecimiento al Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez por su acertada dirección en la elaboración de ésta tesis.

A los miembros del jurado: Dr. Xavier Chiapa Carrara, Biólogo Raúl Arcos Ramos, Bióloga Maricela Arteaga Mejía, I.B.Q. Hilda Olvera del Valle, por la revisión crítica del manuscrito.

A la M. en C. Silvia M. Ortiz Gallarza por su asesoría y acertadas opiniones.

Al C. Almirante Luis D. Salastorrea Rengell, por el apoyo brindado y las facilidades otorgadas para el procesamiento de las muestras en la Dirección de Investigaciones Oceanográficas de la Secretaría de Marina.

Al C. I.Q. Valentín Soto Angel, Oceanólogo Javier Aldeco Ramírez y a la Química Ma. Teresa Aguilar Sánchez, por el apoyo y ayuda en la colecta de las muestras.

A los Biólogos Oscar López Tello, Eduardo Castañeda Beltrán y Ma. de Lourdes García Leal por su colaboración en la realización de los dibujos.

A la M. en C. Esperanza Núñez Fernández por sus comentarios y aportaciones durante el desarrollo de la presente.

A todas y cada una de las personas no mencionadas, que de una u otra manera me brindaron su apoyo y colaboración, para la total realización de este trabajo.

## INDICE

RESUMEN	5
INTRODUCCION	6
OBJETIVOS	9
MARCO TEORICO:	10
A) LOS METALES EN EL MEDIO AMBIENTE MARINO Y ESTUARINO	10
B) PROPIEDADES DE ALGUNOS ELEMENTOS DE TRANSICION	10
C) BIOACUMULACION	14
D) FACTORES AMBIENTALES QUE CONTROLAN LA CONCENTRACION DE LOS METALES PESADOS	15
E) ALGUNOS CONCEPTOS DE CONTAMINACION POR METALES PESADOS	17
DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	19
METODOLOGIA	22
RESULTADOS	26
DISCUSION	34
CONCLUSIONES	56
LITERATURA CITADA	57

# EVALUACION DEL CONTENIDO DE ALGUNOS METALES PESADOS EN ONCE BANCOS OSTRICOLAS EN LA LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMAULIPAS, MEXICO.

## RESUMEN

En el presente trabajo se cuantificó la concentración de ocho metales pesados (Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) en muestras de sedimento, agua y ejemplares del bivalvo *Crassostrea virginica* en la Laguna de San Andrés, Tamaulipas, en cuatro épocas distintas (lluvias, nortes, secas y lluvias). Se determinaron algunos parámetros físico-químicos, tales como: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y nutrimentos ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^-$ ). Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que los parámetros físico-químicos no presentan alteraciones que afecten el comportamiento de los metales analizados. Asimismo, se observó que la mayoría de las concentraciones registradas caen dentro de los límites establecidos en la normatividad mexicana y en los intervalos citados por diversos autores para otras lagunas costeras del litoral del Golfo de México, como por ejemplo Laguna de Términos y Tamiahua, entre otras; con excepción del hierro en sedimento (6,371.4 ppm) y del zinc en *C. virginica* (2,955 ppm), que se encontraron en cantidades elevadas, las cuales, dependiendo de algunos parámetros ambientales, tales como el pH, el potencial redox y la salinidad, entre otros, podrían constituir un riesgo para los organismos de la laguna y para las poblaciones que se alimentan de éstos. El cobalto sólo fue detectado en los sedimentos lagunares.

## INTRODUCCION

---

La zona costera de México se extiende 10,000 km a lo largo de los bordes del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe y tiene aproximadamente 130 lagunas costeras y estuarios, los cuales son de suma importancia ecológica y económica por su diversidad de especies y su productividad pesquera, ya que pueden soportar densas poblaciones de organismos que son explotados con fines comerciales; dichas propiedades son el resultado de una interacción equilibrada de diversos factores hidrológicos, biológicos y climáticos. Este tipo de ecosistemas sumamente frágiles, han sufrido transformaciones ecológicas ocasionadas por la actividad humana.

Desde hace tiempo los cuerpos de agua estuarinos y costeros, han sido empleados como vertederos naturales de desechos, estas aguas tienen un alto grado de biodegradación, pero cuando la tasa de adición excede la capacidad de recuperación, la calidad del agua se deteriora rápidamente, actuando como reservorios y acumulando contaminantes en los sedimentos, en los organismos, disueltos en el agua o adheridos a partículas en suspensión, provocando así la introducción y distribución de sustancias tóxicas en la red alimenticia, que finalmente afectan la salud y economía de la población humana (Goldberg, 1975).

Los contaminantes presentes en el medio marino y estuarino, pueden ser divididos en dos categorías: naturales y artificiales. Los primeros son producto de los procesos naturales y en ésta categoría están los compuestos no refinados de petróleo, metales pesados como el mercurio, plomo y cadmio, y nutrientes derivados del nitrógeno y fósforo, cianuros y sales de amonio. Los segundos son aquellos que han sido sintetizados por el hombre, como los productos refinados del petróleo, hidrocarburos halogenados, fosforados, PVC, plásticos, detergentes, desechos sólidos y radiactivos, su presencia en el ecosistema indica contaminación.

Algunos estudios en cadenas alimenticias marinas han demostrado que las concentraciones de metales pesados más elevadas son casi siempre encontradas en organismos que ocupan los niveles tróficos inferiores (Gutiérrez-Galindo, 1982). Asimismo, Butler et al., (1971) reportan que los límites de bioacumulación relativamente altos de contaminantes han sido encontrados en invertebrados estuarinos.

Los bivalvos son organismos filtradores que a diferencia del zooplancton filtrador, son organismos sedentarios y reflejan la composición de metales pesados en un espacio muy limitado (Forstner y Wittmann, 1979). Debido a su biología, estos organismos son excelentes indicadores de contaminación por metales pesados, material radiactivo, biotoxinas, además de microorganismos patógenos (Wood, 1979; Albert Palacios., 1983) pudiendo causar intoxicaciones en el hombre, así como enfermedades entéricas,

sin que sus efectos sean observados en las especies marinas (Arenas, 1973), además de que son una fuente de nutrición esencial, y por lo tanto un factor económico importante.

El peligro de contaminación que existe en las zonas costeras, se deriva de la dinámica de las tasas de renovación de nutrimentos, al permitir que los metales pesados queden atrapados en los sedimentos que actúan como reservorios naturales de los contaminantes, haciéndolos disponibles para los organismos que los acumulan en sus tejidos, sufriendo de esta manera sus efectos tóxicos.

Las especies de mejillón (principalmente *Mytilus edulis* y del ostión *Ostrea edulis* y *Crassostrea* sp) son generalmente usados como bioindicadores de contaminación por sus características biológicas tales como: escasa movilidad en la fase larvaria, alimentación por filtración, amplia distribución, sobrevivencia bajo condiciones de contaminación severa, etc. (Vernberg, 1974; Farrington, 1983; Freitas y Boehm, 1989). Además de para entender la habilidad que tienen para transmitir los metales pesados a niveles tróficos mayores, así como acumular altas concentraciones en sus órganos, sin presentar efectos deletéreos aparentes en los individuos y en la intensificación de los procesos metabólicos que les facilitan esta resistencia a la intoxicación con metales (Cunningham, 1979).

Ultimamente se ha obtenido información sobre los efectos tóxicos de los metales pesados en organismos de importancia comercial, mediante la aplicación de los llamados bioensayos de toxicidad (Botello, 1982); y se han realizado diversos estudios ecológicos, midiendo la contaminación de metales pesados en agua, sedimento y organismos.

En particular en la Laguna de San Andrés, se han realizado algunos trabajos, por la Universidad del Noroeste de Tamaulipas, y la Dirección de Acuacultura de Tampico orientados principalmente al desarrollo y producción ostrícola, reconocimientos sobre comunidades planctónicas (De la Tejera, 1984; Cid, 1984), determinación de nutrientes, además de parámetros físicos y químicos (Jurado, 1983), estudios sanitarios del ostión (Leal, 1985) así como de su contenido de grasas y aceites (Nuñez, 1985), entre otros.

Es de vital importancia conocer la concentración de metales pesados en los organismos así como del entorno que los rodea, dada la importancia que representan para la salud humana. En la actualidad, se conoce relativamente poco acerca de los efectos de las dosis subletales en los organismos, debido a la gran cantidad de factores biológicos y ambientales que intervienen y ocasionan efectos negativos para los organismos de importancia comercial.

Tomando en cuenta que en la zona se tienen escasos estudios al respecto, y considerando los pocos conocimientos que se tienen en relación a los niveles



existentes de algunos metales pesados, tanto en los organismos como en el sedimento, el presente trabajo se encaminó a evaluar los niveles de contaminación existentes en la laguna de San Andrés, Tamaulipas, lo que servirá de base para conocer las condiciones que prevalecen en ese lugar.

## OBJETIVOS

---

### OBJETIVO GENERAL:

Determinar los niveles de concentración de algunos metales pesados presentes en el ostión *Crassostrea virginica*, sedimento y agua, así como cuantificar algunas variables físicas y químicas que pueden influir en el proceso de absorción y liberación de estos, en la Laguna de San Andrés, (Ejido El Morón), Tamaulipas, de agosto de 1984 a junio de 1985.

### OBJETIVOS PARTICULARES:

- Determinar la concentración de los metales pesados (Cu, Mn, Fe, Ni, Pb, Co y Cd) presentes en ostión *C. virginica*, sedimento y en el agua de la laguna, mediante técnicas de espectroscopía de absorción atómica de flama.
- Realizar análisis de parámetros físicos, químicos y geológicos, tales como; temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto, alcalinidad, nutrimentos (N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, P-PO<sub>4</sub>) en el agua, además pH y textura en el sedimento de la laguna.
- Detectar las variaciones estacionales en el contenido de metales pesados en *C. virginica*, sedimento y agua durante el período de observación.
- Estimar los niveles de abundancia de metales pesados (Cu, Mn, Fe, Ni, Pb, Co y Cd) mediante el cálculo de factores de acumulación en organismos *C. virginica*, sedimento y agua.
- Establecer el estado de impacto de la Laguna de San Andrés, en cuanto a contaminación por metales pesados.

## MARCO TEORICO

---

### LOS METALES EN EL MEDIO AMBIENTE MARINO Y ESTUARINO

(Co, Cu, Cd, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe).

El término metal pesado se refiere esencialmente a aquellos elementos que tienen pesos específicos mayores de 5. La mayoría de los metales pesados biológicamente activos o potencialmente tóxicos, son miembros de la familia de los elementos conocidos como de transición. Estos elementos tienen muchas propiedades en común, debido a que su configuración electrónica es muy similar; son altamente reactivos y por lo tanto, pueden estar retenidos en sedimento y organismos del ambiente acuático (Mandelli, 1976).

Si bien algunos de estos metales son tóxicos a determinadas concentraciones, también son esenciales para los organismos como es el caso de Fe, Cu, V, Zn, Co, etc. (Clark, 1986); estos se encuentran en niveles de partes por millón, tanto en vegetales como en animales y son definitivamente necesarios para el funcionamiento de sus sistemas vitales; no obstante, al sobrepasar las concentraciones requeridas por los organismos, muchos de estos se vuelven tóxicos (Mance, 1987). Los metales pesados en agua por lo general, no tienen un comportamiento definido en cuanto a su distribución espacial y pueden mostrar estratificación vertical (Botello y Paéz, 1984). También los del primer grupo de transición son constituyentes naturales de los sedimentos y del agua de mar, y se derivan de la erosión de las rocas minerales, del vulcanismo, etc., (Clark, 1986).

### PROPIEDADES DE ALGUNOS ELEMENTOS DE TRANSICION.

**ZINC:** Es uno de los metales pesados más abundantes, su concentración para aguas estuarinas se ha reportado en 0.4 ppm, y ésta al parecer es letal para algunas larvas de moluscos (Galtsoff, 1964). Los niveles naturales en agua de río son del orden de 10 ppm, en la corteza de la tierra de 40 ppm. En el medio marino, se encuentra principalmente en forma iónica y como cloruros y sulfatos.

Es un microconstituyente esencial para microorganismos, plantas y animales, se encuentra en grandes cantidades en invertebrados marinos, como crustáceos decápodos según Bryan, (1971), los organismos marinos acumulan el zinc de preferencia en forma iónica; ya que este metal activa a la anhidrasa carbónica, en la que se encuentra en un 33 % como parte de su molécula, se cree que interviene en el metabolismo del exoesqueleto de crustáceos decápodos; también está presente en el pigmento respiratorio hemocianina para crustáceos y algunos moluscos (Wright, 1972); está involucrado en la síntesis proteica del RNA (Valkovic, 1980).

El zinc en altas concentraciones da un color azul-verde a los peces y mariscos (Bermejo, 1983); este elemento no es considerado como un metal peligroso (Valkovic, 1980).

**COBRE:** Es un elemento traza en la materia viviente, se presenta en todas las células como parte del complejo citocromo-oxidasa; varios tejidos contienen relativamente altas concentraciones de cobre, el cual puede estar presente en oxidadas y proteínas en la sangre (Berman, 1980; Salomons y Forstner, 1984), se sabe que forma parte del pigmento hemocianina (0.2 - 0.4%), presente en algunos crustáceos decápodos y moluscos, también en enzimas y en otros compuestos como elementos de coordinación. Es un constituyente principal en muchos organismos marinos y está considerado como un factor muy importante en el ciclo de vida de los ostiones, ya que estos necesitan concentraciones relativamente altas para el desarrollo de la larva. El factor de acumulación para algunas especies marinas es de 7,500 (Halstead, 1972).

**MANGANESO:** El manganeso está presente generalmente como óxido insoluble en el medio ambiente marino y no forma parte de moléculas de enzimas, sino que sólo actúa como elemento activador. Además, se intercambia con el magnesio en sistemas enzimáticos, activando algunas fosfatasas, arginasas y carboxilasas. Es un elemento esencial para plantas, animales y microorganismos, funciona como componente de varias enzimas.

El manganeso juega un papel importante en la actividad de muchos sistemas enzimáticos, la capacidad de la sangre de enlazar el manganeso y producir concentraciones favorables en el gradiente es poco conocido, estando en íntima relación con los procesos bioquímicos y fisiológicos (Berman, 1980).

El manganeso iónico es absorbido directamente del medio marino a través de las branquias, como es el caso de la langosta del género *Homarus*, se encuentra además, distribuido en un 90 % en la parte calcificada del exoesqueleto (Bryan y Ward, 1965), por lo que se cree que puede sustituir al calcio en la calcita.

**COBALTO:** Según se sabe actualmente, se encuentra como componente básico de la vitamina B<sub>12</sub>, de cuya molécula constituye un 4.5 %. La vitamina B<sub>12</sub> afecta la síntesis y transferencia de los grupos metilo. Interviene también en la activación de aminoácidos y en la conservación de RNA y DNA, y se halla en algunas enzimas. En la naturaleza se encuentra siempre asociado a mayores cantidades de níquel.

El cobalto se encuentra en la naturaleza en mezcla con otros elementos tales como CoCl<sub>2</sub> y CoSO<sub>4</sub>; se puede presentar en otras formas: como efluentes de fundiciones, platinados, colorantes y otras industrias (Albert-Palacios, 1983).

**NIQUEL:** El níquel es un elemento traza esencial, ampliamente distribuido en muy bajas concentraciones en tejidos de plantas y animales. El níquel está presente en el RNA

y DNA (Valkovic, 1980; Berman, 1980; Baltrop, 1978).

Investigaciones recientes muestran que el níquel funciona como cofactor biológico en las metaloproteínas, que facilitan la absorción intestinal del ión hierro (III) (Nielsen, 1980).

Sólo el 10 % del níquel ingerido es absorbido; del níquel excretado, el 90 % es vía heces fecales y el 10% vía orina (Berman, 1980).

El níquel ingerido por la nariz, es poco tóxico (Berman, 1980). Sin embargo, tiene efectos corrosivos en tracto digestivo, piel y manifestaciones alérgicas en los órganos respiratorios (Norseth, 1979; Berman, 1980). Puede producir cáncer en tejidos, mutaciones en las células (Valkovic, 1980; Rondia, 1978, Boudene, 1978) y alteraciones en la mitosis (Costa et al., 1980).

**CADMIO:** El cadmio penetra en el medio marino como resultado de las actividades antropogénicas, tanto a través de la atmósfera, como de la hidrosfera (Davis, 1970; Bouquiaux, 1974). La cantidad total de cadmio en los océanos aportada por los ríos durante el ciclo sedimentario principal, se ha estimado en  $0.5 \times 10^6$  g/año, cantidad notablemente menor que la movilizada por el hombre hacia la atmósfera y en las aguas terrestres. Se calcula que el tiempo de residencia es de quinientos mil años.

La ingestión humana de cadmio se produce principalmente a través de la cadena alimentaria (alrededor de 40 ug al día) y se le atribuyen enfermedades tales como el cáncer de próstata, osteomalasia y lesiones renales permanentes, provoca en el hombre una enfermedad crónica que puede manifestarse por años como gastritis, aumentar el grado de sedimentación en los eritrocitos, enfisema pulmonar, cálculos renales, anuria, osteoporosis, cambios dentales, hipertensión cardíaca (Coomb, 1979). Lagerweff (1972) considera que la vida media del cadmio en el hombre es de 10-25 años.

Es un componente natural del suelo (0.05 ppm) y el agua (0.04 ppm), sin embargo, es de baja solubilidad; cerca de las zonas mineras, los niveles de cadmio en el agua exceden 3 ppm.

El factor de concentración es de 4,500 para algunos organismos. Es letal para ciertos especímenes en niveles de 0.01 a 1 ppm (Halstead, 1972).

**PLOMO:** Es uno de los elementos tóxicos más estudiados y ampliamente utilizados en el mundo. La vía de asimilación más importante es la inhalación, ya que se absorbe del 25 al 30 %. El plomo interfiere con algunos sistemas enzimáticos y puede causar lesiones reversibles e irreversibles que pueden llegar a ocasionar la muerte. Es un cancerígeno, mutagénico y en experimentos con animales, se ha encontrado que es teratogénico.

En organismos marinos tales como camarones, almejas y ostiones, se presentan concentraciones importantes del metal (Berman, 1980).

Se ha comprobado que la concentración de plomo en el agua de mar es menor que en el agua dulce. La solubilidad del plomo en el agua de mar es de 1 ppm. Los niveles de plomo en capas superficiales de agua dulce son aproximadamente 0.5 ppm y en mar abierto de menos de 0.1 ppm (Higgins y Burns, 1975).

La toxicidad en organismos no ha sido establecida, pero parece ser de alrededor de 1 ppm por ciertos períodos de tiempo. Algunos organismos marinos presentan un factor de concentración de 1,400. En el caso de los organismos superiores terrestres, se estima que el plomo es tomado en un promedio diario de 300 ug en alimentos sólidos, 20 ug en líquidos y de 10 a 1,000 ug por aire; cerca del 10% de la ingestión de plomo, se absorbe gastrointestinalmente y de 30 a 50% por inhalación (Lagerweff, 1972).

La mayor parte del plomo orgánico se acumula en el cerebro debido a su especial afinidad con los lípidos de los tejidos nerviosos (Valkovic, 1980). Este metal produce en el hombre una enfermedad llamada saturnismo, ataca a las células sanguíneas, hueso, hígado, riñón y sistema nervioso; a nivel celular se concentra en el núcleo, mitocondrias y microsomas (Parada et al., 1975). Este elemento, es excretado principalmente por vía orina, heces fecales y en menor grado por saliva, sudor y pelo (Pérez-Zapata, 1983).

**HIERRO:** Es un elemento constituyente vital de las plantas y animales. El cuerpo contiene de 4 a 5 g o de 6 a 70 ppm de hierro (Valkovic, 1980). El pigmento respiratorio hemoglobina, que se encuentra en los vertebrados y muchos invertebrados contiene hierro. Es indispensable para las plantas, ya que lo utilizan para realizar la fotosíntesis, así como para el metabolismo del nitrógeno. En general, se reportan concentraciones altas de hierro en especies representativas de moluscos marinos, especialmente en glándulas digestivas y otros órganos internos.

Se combina con arcillas, por lo que es abundante en los sedimentos. En aguas intercosteras, el contenido de hierro es más alto que en los océanos (cantidades menores de 0.2 ppm). Está disuelto en su mayor proporción, en forma de ión ferroso o férrico; el bicarbonato ferroso disuelto es estable a un pH 7.0 si el contenido de oxígeno es inferior a 0.5 ppm, ya que cuando es más elevado se precipita como hidróxido férrico; y a un pH bajo, ésta precipitación es muy lenta (Margaleff, 1980).

Los compuestos de hierro ingeridos en exceso pueden ser fatales, afectan principalmente a los niños, siendo el sulfato ferroso el que más comúnmente provoca intoxicación aguda (Berman, 1980; Salomons y Forstner, 1984). Altas concentraciones de óxidos de hierro tienen ciertos efectos en algunos organismos marinos (Clark, 1986). Por ejemplo, el hidróxido de hierro, tiende a depositarse en las

branquias de los peces y las ocluye (Rodier, 1981).

El hierro se relaciona con algunas porfirinas en la acción rápida del músculo estriado. Debido a este papel fisiológico no es sorprendente que existan altas concentraciones en los organismos.

## **BIOACUMULACION.**

El incremento en la concentración de sustancias tales como: metales pesados, insecticidas, hidrocarburos, etc., en ambientes acuáticos, es capaz en algunas ocasiones, de reflejarse en los organismos que habitan dicho sistema, por lo que se les denomina organismos indicadores.

La evaluación del contenido de metales pesados en los organismos acuáticos se realiza especialmente en aquellos de hábitos bentónicos y filtradores, empleándose a estos organismos frecuentemente como indicadores de contaminación, ya que tienen la capacidad de acumular compuestos contaminantes, tales como metales pesados, hidrocarburos, bacterias, etc. (Goldberg et al., 1978; Farrington, 1983). Muchos de los metales analizados son importantes para la fisiología y metabolismo de las especies, particularmente el Fe, Mn, Cu, y Zn (Rosas et al., 1983).

A este respecto se debe fijar una atención especial, en virtud de que los metales pesados forman complejos con la materia orgánica, por lo que tienden a fijarse en los tejidos de los organismos expuestos y son considerados como contaminantes del medio acuático (Mandelli, 1979). La concentración de metales en organismos acuáticos depende de varios factores como: condiciones fisiológicas de éstos, crecimiento, edad, sexo, especie, salinidad, temperatura, pH, así como de la concentración de metales en el agua (Mance, 1987; Croatto, 1985; Phillips, 1980). En el ecosistema marino los efectos de los metales pueden ser directos o indirectos en los organismos y la columna de agua, y también es posible que sean eliminados por procesos de adsorción o cambios químicos o pueden bioacumularse en los seres vivos (Mance, 1987).

La concentración de los metales traza y pesados se incrementa en la zona costera debido principalmente a las descargas fluviales e industriales (Forstner y Wittman, 1979). Este incremento en la concentración presenta diversos efectos en el medio ambiente marino; como pueden ser la biomagnificación de los metales traza (Mance, 1987). Las concentraciones anormales de metales en los tejidos de los organismos marinos es un aspecto importante, primero porque las altas acumulaciones en especies comerciales pueden provocar daños en el hombre y a otros vertebrados; y segundo, porque pueden afectar la productividad de los organismos marinos y estuarinos.

Existen tres procesos (precipitación, adsorción y absorción) que permiten remover los metales del medio ambiente marino (Bryan, 1971), lo que origina que en determinadas

ocasiones se encuentren en los organismos, concentraciones de especies químicas que fluctúan muy por encima de los valores que se pudieran encontrar en el medio ambiente donde se desarrollan (Mandelli, 1976; Gutiérrez-Galindo, 1982).

No todos los organismos pueden ser indicadores de la contaminación ambiental, debido a que algunos poseen ciertos mecanismos que les permiten regular dichas concentraciones dentro de su cuerpo. Este grado de protección varía de especie a especie, tanto, que en condiciones de contaminación el balance ecológico se inclinará hacia aquellas especies que sean más tolerantes (Bryan, 1976). Los organismos más frecuentemente usados como indicadores de metales son los bivalvos, *Crassostrea*, *Ostrea* y *Mytilus*; ya que además de representar una fuente alimenticia esencial para el hombre, son un factor económico importante, que en ocasiones llega a hacer innecesario el muestreo de sedimento y agua (Goldberg, 1975).

Se ha encontrado que en la acumulación de metales por estos organismos intervienen procesos tales como:

- Ingestión de partículas suspendidas
- Formación de complejos por la unión de moléculas orgánicas.
- La absorción del metal preconcentrado en el material alimenticio.
- La acumulación de los iones metálicos en los sistemas fisiológicos, y
- La fijación por intercambio a través de la capa mucosa.

Se piensa que el grado de acumulación de los metales a partir de los sedimentos, depende de factores como la forma química, la concentración del metal, el tamaño de la partícula, la agitación del sedimento, los hábitos alimenticios y las características fisiológicas del organismo (Pérez-Zapata, 1983). Sin embargo, la concentración total de metales en la columna de agua y en sedimento, no necesariamente refleja las concentraciones que son aprovechadas por la biota (Gutiérrez-Galindo, 1982).

## **FACTORES AMBIENTALES QUE CONTROLAN LA CONCENTRACION DE LOS METALES PESADOS.**

En muchas investigaciones se evidencia que en un sistema acuático, el cual está altamente contaminado por metales pesados, es necesario realizar análisis del sedimento. Debido a los procesos fisicoquímicos, la mayor parte de los metales pesados introducidos en un sistema acuático, son depositados en el sedimento, donde pueden ser perjudiciales para los organismos bentónicos.

La toxicidad de los metales pesados en el agua y sedimento, depende en gran medida de la disponibilidad y actividad iónica de los mismos, como consecuencia, una mayor acumulación en agua y sedimento, no necesariamente afecta a los organismos que



viven en el sedimento (Forstner y Wittmann, 1979).

Algunos experimentos de laboratorio, han revelado que muchos parámetros fisicoquímicos tienen influencia considerable en la toxicidad y acumulación de metales en los organismos (Lloyd, 1965; Tabata, 1969). La concentración efectiva de los iones metálicos en un organismo, está afectada por numerosos factores, incluyendo la concentración del metal en el ambiente, el tamaño de la partícula de los sedimentos (Pesch y Morgan, 1978), la interacción entre los diversos metales y la salinidad (Phillips, 1980), temperatura (Mance, 1987), contenido de oxígeno, dureza, materia orgánica, tasa alimenticia, composición del alimento, etc.

El entendimiento del potencial de los efectos fisiológicos resultantes en los estuarios, requiere del conocimiento de éstos complejos procesos biológicos, físicos y químicos, controlando la distribución y movimiento de los metales en organismos y en el ecosistema entero (Wolfe y Rice, 1972).

El cambio brusco de la temperatura puede activar el metabolismo de los organismos, y generalmente, el incremento de ésta acelera el ritmo metabólico de los bivalvos. Se ha observado en general que a mayor temperatura, mayor toxicidad y viceversa, en forma directamente proporcional, hasta llegar a cierto límite. Si se considera el efecto sinérgico de la salinidad, la temperatura y el oxígeno disuelto, se combinan sus efectos y éstos pueden ser magnificados (Coombs, 1979).

En cuanto a la influencia de la salinidad, diversos metales son más accesibles a la biomasa pelágica en zonas con baja salinidad. Las variaciones bruscas afectan la tasa de filtración de algunos organismos (especialmente en los moluscos), igualmente estas variaciones dan lugar a ciertos cambios fisiológicos en los organismos (e.g. cierre de valvas en los moluscos, durante un tiempo prolongado) (Gutiérrez-Galindo, 1982). La salinidad en el medio marino se mantiene relativamente constante y tiene poca influencia en la concentración de metales pesados, el contenido de estos metales disueltos, es generalmente mucho más baja que en agua dulce. En los estuarios donde hay mezcla de agua dulce y salobre, la salinidad es el factor dominante en la concentración de metales pesados (Forstner y Wittmann, 1979).

Se ha observado también que la salinidad influye en procesos tales como la absorción de los metales, la cual decrece cuando la primera aumenta. Además las altas concentraciones de sal, alteran el pH del medio, y por lo tanto, la solubilidad del metal.

Según las especies químicas de los metales pesados presentes en el medio acuático, el pH juega un papel importante en las interacciones entre los metales pesados y algunos parámetros tales como: la dureza del agua y algunos compuestos orgánicos. La toxicidad de los metales pesados puede incrementarse con un pH básico (Whitley, 1968). Con respecto a las sustancias orgánicas, los cambios en el pH del agua, pueden influir en la absorción o desabsorción de cationes (Forstner y Wittman, 1979).

La dureza del agua influye en la toxicidad (y consecuentemente en la actividad de los metales pesados) por la formación de carbonatos insolubles o por la absorción del carbonato de calcio. De esta manera, la concentración de metales pesados necesarios para alcanzar el límite letal, debe ser mayor cuando aumenta la dureza y menor cuando disminuye (Forstner y Wittmann, 1979). El mecanismo por el cual la toxicidad de los metales pesados es reducida o incrementada por la dureza del agua, puede ser explicada como una reacción química entre los iones del metal y los carbonatos.

### **ALGUNOS CONCEPTOS DE CONTAMINACION POR METALES PESADOS.**

La mayoría de los elementos metálicos se encuentran en ambientes estuarinos de manera natural y algunos son esenciales para el crecimiento y desarrollo normales de los organismos marinos y generalmente son clasificados como contaminantes, cuando son adicionados por el hombre, en cantidades suficientes para producir efectos deletéreos sobre el ecosistema (Wolfe y Rice, 1972). Casi todos los metales son bioacumulados en uno o más componentes de la red trófica acuática. Los metales pueden transmutarse pero no destruirse, por lo que se combinan con complejos y componentes varios. Un punto notable es que ciertos metales pueden combinarse con sustancias orgánicas para formar compuestos altamente tóxicos, como el cloruro de metilmercurio. Algunos metales causan efectos nocivos en la biota, la cadena alimenticia y el hombre.

Los problemas más serios en la ecología de las zonas estuarino-lagunares, se derivan de las actividades humanas. Debido principalmente a su conformación geológica, a las propiedades meteorológicas y al desarrollo industrial y turístico, estas áreas propician la acumulación de diversos materiales y sustancias contaminantes antes que se difundan y diluyan en el mar (Vázquez et al., 1986).

De acuerdo a la toxicidad y disponibilidad en el ambiente, los metales se dividen en tres grupos:

- 1) Metales ligeros (Na, K, Ca, etc.), que normalmente son transportados como cationes en soluciones acuosas.
- 2) Metales de transición (ej. Fe, Cu, Co y Mn), los cuales son esenciales en bajas concentraciones pero que pueden ser tóxicos a altas concentraciones.
- 3) Metales pesados o metaloides (ej. Hg, Pb, Se y As), los cuales generalmente no se requieren para la actividad metabólica y son tóxicos para las células a muy bajas concentraciones (Clark, 1986).

Los metales son introducidos a los sistemas acuáticos como resultado del

intemperismo de suelos y rocas, de las erupciones volcánicas, del transporte por escurrimiento, de los procesos biológicos y de una gran variedad de actividades humanas, incluyendo la minería, la agricultura y las actividades domésticas.

Generalmente, las formas químicas en las cuales los metales se manifiestan en el medio acuático son las siguientes:

- 1) Disueltos
- 2) Formando parte del material suspendido
- 3) Depositados en el sedimento
- 4) Entre el agua intersticial

Los metales pueden estar incorporados o retenidos a la estructura de los minerales, constituyendo el sedimento (fracción litógena), o bien, distribuidos entre la materia orgánica, los hidruros de manganeso y de hierro, así como, formando algunos minerales discretos (Clark, 1986).

La materia orgánica suspendida puede actuar como un complejante para los metales pesados en el agua. Sin embargo, la mayor parte de estos, presentes en el medio acuático, se asocian con las partículas suspendidas.

Los sedimentos ricos en petróleo contienen cantidades importantes de Hg, Pb, Cr, Cu, Ni y Zn (Walker y Williams, 1974), de modo que el petróleo constituye un vehículo para su movilización y transporte; pueden ser tóxicos a otros animales y al hombre como resultado de la bioacumulación.

## DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

---

**UBICACION GEOGRAFICA.** La laguna de San Andrés se ubica en el litoral del Golfo de México, en la zona sur del estado de Tamaulipas, entre los municipios de Aldama y Altamira (Fig. 1). Geográficamente se localiza entre los 22°32' y 22°57' latitud norte y los 97°46' y 97°54' longitud oeste. Cuenta con una superficie de aproximadamente 8,300 Has, se extiende a lo largo de 43 km con un ancho variable de 4 km en la parte central y 200 m en sus extremos (De Buen, 1957; López, 1968), se comunica con el mar en el Golfo de México a través de la Boca de Chavarría.

**CLIMATOLOGIA.** Presenta un clima tipo aw<sup>1</sup>,(e), según García (1973), el cual corresponde a un clima sub-húmedo cálido, con temperatura media más cálida sobre los 22°C, y con dos épocas de secas, una marcada para invierno y otra para verano. Cuenta con un promedio anual de temperatura entre 20° y 25°C, presentando sus máximas en mayo-junio, y sus mínimas en enero-febrero. La humedad relativa alcanza un valor de 80 %, y se tiene una precipitación media anual de 1,000 mm.

**HIDROLOGIA.** La laguna de San Andrés es alimentada por escurrimientos de la zona continental por dos ríos, al sur el río Barberena y al norte el río Tigre, éste último es el más caudaloso. Su comunicación con el mar en el Golfo de Mexico es por medio de la Boca de Chavarría.

En su carácter costero, la laguna actúa como un vaso regulador de los diferentes afluentes que se descargan en ella, combinando dicha acción con el efecto de las mareas y como consecuencia, el intercambio de agua a través de la Boca de Chavarría (Palacios, 1983).

**VIENTOS.** Los vientos que inciden en el área de estudio provienen del este, presentan una velocidad máxima de 4.20 m/seg, en tanto que los vientos dominantes son del sureste, con una velocidad máxima de 48 m/seg (López, 1968).

**GEOLOGIA.** Lankford (1977), la clasifica por su origen en el tipo III-A. La descripción del tipo III, de acuerdo a esta clasificación, indica que la laguna se originó por la acreción de barreras arenosas, en depresiones inundadas del margen interno de la plataforma continental, y que se encuentra bordeada por la superficie continental; está protegida del mar por una barrera, originada por la acción del oleaje y las corrientes asociadas. La batimetría es muy somera, excepto en los canales de erosión; modificaciones que se deben principalmente a los procesos litorales, incluyendo actividad del viento y el efecto de los huracanes. La sedimentación terrígena se encuentra muy localizada. Este tipo de laguna corresponde propiamente a las catalogadas como lagunas costeras, las cuales se presentan en llanuras de escaso relieve, con condiciones energéticas inducidas por el oleaje y con variaciones de

fuertes a intermedias.

La subclasificación A, corresponde a aquellas lagunas que tienen una barrera de tipo Gilbert Beaumont. Las barreras arenosas son amplias y ocasionalmente múltiples. Con aporte fluvial ausente o muy local, forma y batimetría modificadas por la acción de la marea, tormentas, flujo eólico y localmente, por arroyos que tienden a segmentar las lagunas alargadas. La energía es relativamente baja, excepto en los canales y durante condiciones de tormenta. Su salinidad es variable.

La zona de estudio se encuentra dentro de la planicie costera nororiental; es una superficie plana con pendiente suave, que se originó por levantamientos tectónicos del Cenozoico; está constituida en general por materiales sedimentarios, arena, limo, grava y pedruzcos labrados por pequeñas corrientes que desembocan en las áreas pantanosas, alimentadas por afluentes de muy corta longitud (López, 1968).

**SEDIMENTOS DEL FONDO.** En la laguna predomina el tipo de fondo limoso y limo-arcilloso, sobre todo en el área de influencia de las desembocaduras de sus ríos tributarios; en la parte central de la laguna los fondos son de tipo arcilloso, en la parte norte y en la sur, se encuentran grandes extensiones que tienen una gruesa capa de fango (Tiznado y Saldaña, 1980). En los sedimentos de este ecosistema predominan los minerales Montmorilonita y (en proporción menor pero constante), Kalenita. Saturan los sedimentos, cationes monovalentes como el sodio (McIntere y Ho, 1969).

**VEGETACION.** La vegetación alledaña es de tipo pradera, y se caracteriza por la presencia de plantas herbáceas en una franja paralela al cordón litoral; en los cordones de mayor altitud, se observan cambios de vegetación. En los bordes, la vegetación es escasa con manglares y especies pantanosas como *Inga spuria* (agapote), *Coccoloba schiedeana* ("uvero") y *Chlorophora tinctoria* ("moral"); en estas áreas cercanas a la desembocadura de los ríos se hallan *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Avicennia nitida* (mangle prieto), (Tiznado y Saldaña, 1980). La vegetación acuática no está aun bien tipificada, pero abunda *Ruppia maritima* ("pasilola"), y *Thalassia testudinum*. En la barra arenosa se distribuyen el arbusto *Curatella americana* ("hazamana") y la rastrera *Hipomea pescaprae*.

**CONDICIONES FISICO-QUIMICAS.** La salinidad es uno de los factores que en el ambiente estuarino presentan mayor variación. Los valores promedio anuales comienzan a ascender desde noviembre y alcanzan los valores más altos en junio, para descender rápidamente al iniciarse la temporada de lluvias (De Buen, 1957). San Andrés es un cuerpo acuático polihalino con un rango de salinidad entre 20 y 45, excepto en las zonas alledañas a la desembocadura de los ríos Tigre y Barberena, en donde desciende hasta 10 en la época de lluvias. En la actualidad se trata de un cuerpo cerrado a partir de una barra casi continua a lo largo de la costa, en forma de aro frente a la boca (Tiznado y Saldaña, 1980).

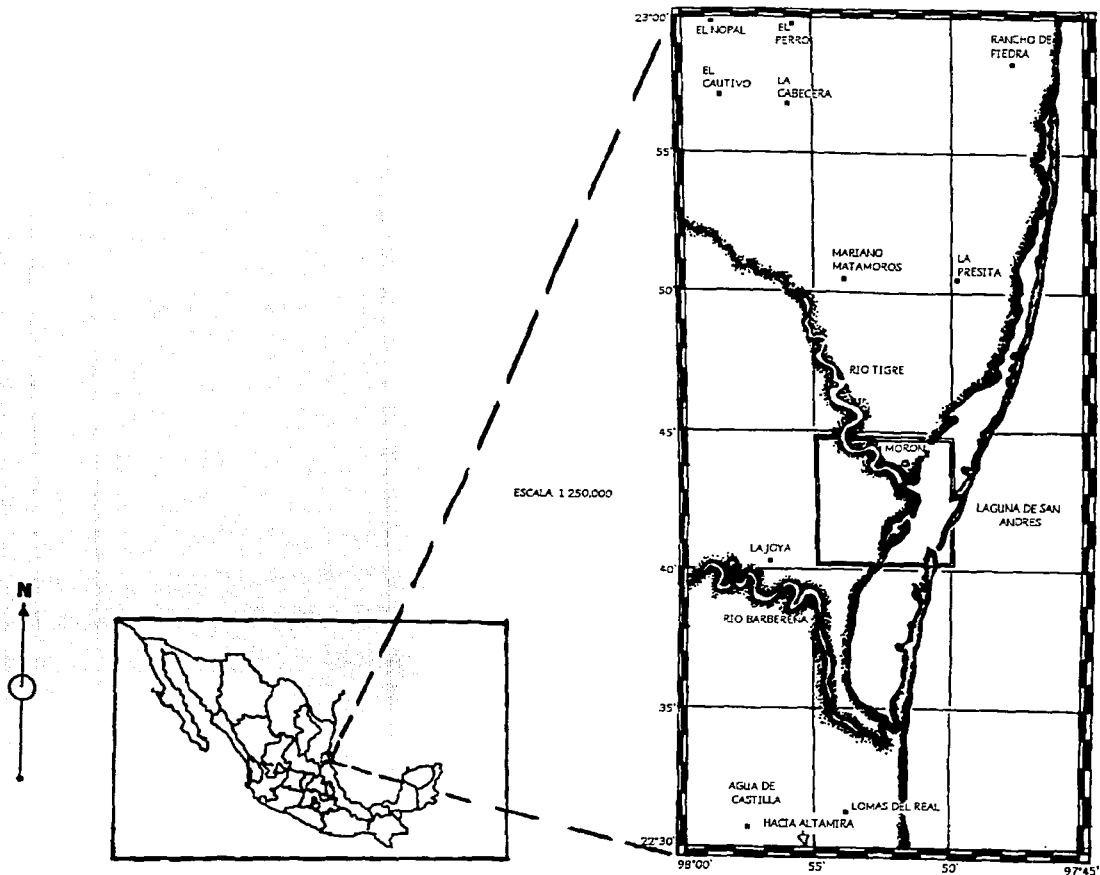


FIG. 1 LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO  
LAGUNA DE SAN ANDRES  
TAMAULIPAS

**COMUNIDADES FAUNISTICAS.** En cuanto a la composición biológica del bentos, se conoce la existencia de 22 especies de las cuales las más abundantes son *Crassostrea virginica* y *Ostrea angelica* (De Buen, 1957; Contreras, 1985). El ostión *C. virginica* es notablemente abundante en grandes bancos que se distribuyen en una gran extensión de la laguna, siendo éste el producto comercial más importante dentro de ésta.

Con respecto a los crustáceos de importancia comercial, se cuenta con *Penaeus setiferus* (camarón blanco), y *Macrobrachium acanthurus* (camarón prieto de río), dos especies de jaiba; *Callinectes sapidus* y *C. rathbunae*.

En la laguna se capturan diversos peces, como; robalos, pámpanos, truchas, banderas, pargos y sargos, entre otros (De Buen, 1957).

**TRABAJO DE CAMPO.** En la laguna de estudio se establecieron once estaciones de muestreo (Fig. 2), de acuerdo a los bancos de mayor importancia para los pescadores del ejido "El Morón", donde se practica la explotación ostrícola. Los muestreos se realizaron entre agosto de 1984 y junio de 1985, en cuatro diferentes épocas, (lluvias, nortes, secas y lluvias), colectándose ostiones, sedimento y agua en cada ocasión.

Se midieron **in situ** los siguientes parámetros:

- a) **Salinidad:** Se determinó mediante el uso de un refractómetro, American Optical, de precisión  $\pm 0.5$  ppm.
- b) **Oxígeno disuelto:** Se obtuvo mediante el método de Winkler modificado por Carrit y Carpenter (Strickland y Parsons, 1972).
- c) **Temperatura:** Se midió a través de un termómetro de cubeta con un rango de precisión de  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ .
- d) **pH del agua y del sedimento:** Mediante el uso de un potenciómetro de campo DIGI-SENSE, Cole Palmer, modelo 5985-20, con un rango de precisión de  $\pm 0.1$ .
- e) **Profundidad:** Mediante una sondaleza con cuerda marcada cada 10 cm.
- f) **Transparencia:** Con el disco de Secchi y cuerda marcada cada 10 cm.

Todas las muestras de agua fueron obtenidas con botellas muestreadoras tipo Van Dorn, a una profundidad de 50 cm, en los puntos de muestreo, fueron conservadas a  $-4^\circ\text{C}$  y transportadas al laboratorio para su análisis posterior. Las destinadas a la determinación de metales pesados se colocaron en recipientes de polietileno previamente lavados con ácidos diluidos y agua desionizada, para eliminar cualquier residuo de metales que pudiera permanecer en la superficie del recipiente. Estas últimas se pasaron a través de un filtro Millipore de 0.45  $\mu\text{m}$  y se acidularon con ácido nítrico concentrado (0.5 ml/L), para su conservación y para asegurar que los iones metálicos no se precipitaran.

El sedimento fue colectado mediante pequeños tubos de PVC de aproximadamente 10 cm de longitud, (previamente tratados con ácidos diluidos) a manera de nucleadores. Estos fueron colocados en bolsas de polietileno y se mantuvieron a  $-4^\circ\text{C}$  para su conservación, hasta su análisis en el laboratorio.



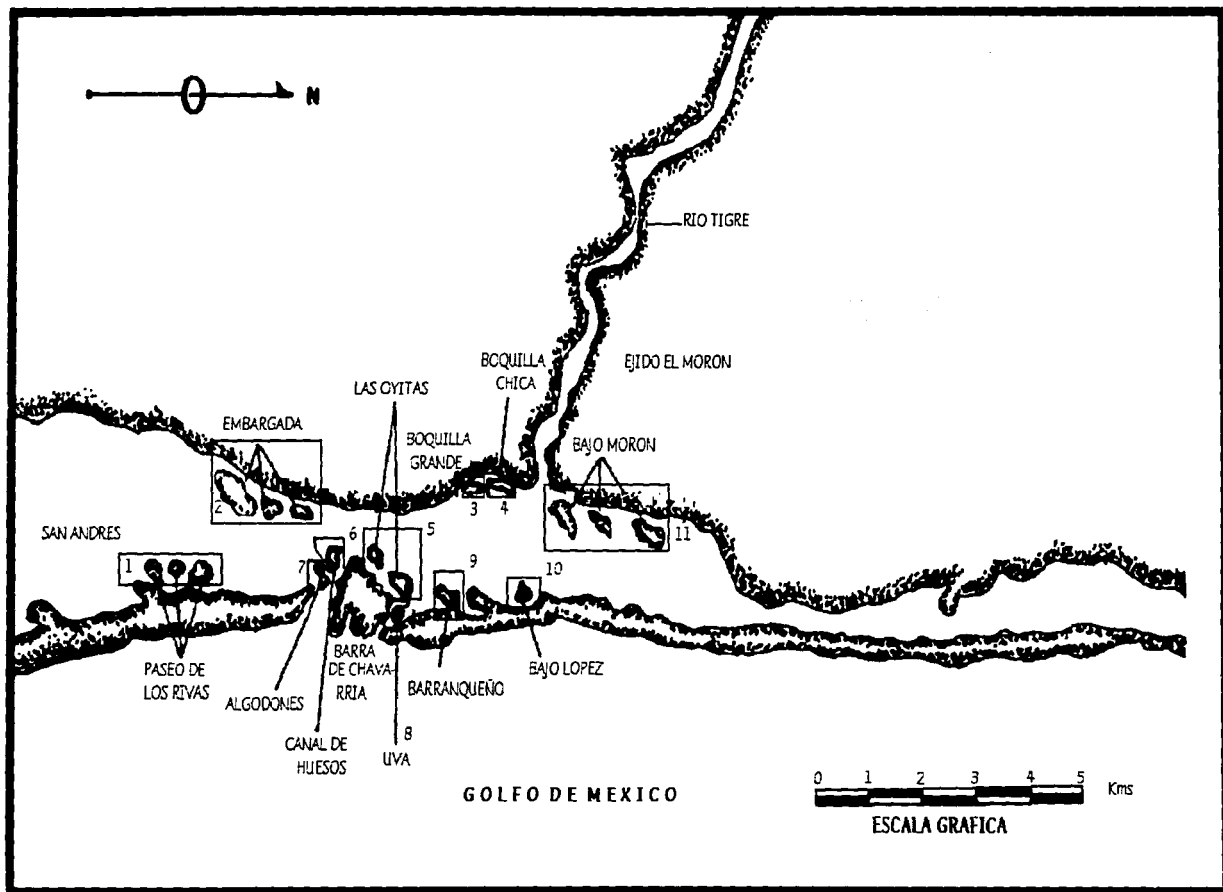


FIG. 2 LOCALIZACION DE ESTACIONES DE MUESTREO

Los ostiones fueron colectados mediante "gafas" (arte especial de pesca, para ostras), y en los lugares someros, manualmente. Se almacenaron en bolsas de polietileno, previamente etiquetadas y congeladas, hasta su procesamiento.

## **TRABAJO DE LABORATORIO.**

**Análisis químicos.** Una vez en el laboratorio, se dejó que las muestras de agua adquirieran la temperatura ambiente y se procedió a la determinación de las concentraciones de los componentes químicos, mediante los siguientes métodos colorimétricos y de titulación:

- a) **Alcalinidad:** Se determinó mediante el método de Anderson y Robinson, (En: Strickland y Parsons, 1972; Grasshoff, et al., 1983), por titulación con ácido clorhídrico 0.1 N, midiendo el pH.
- b) **Nitratos:** Por el método de reducción a nitritos, empleando columnas de reducción con limaduras de cadmio cubiertas con cobre coloidal (Wood et al., En: Strickland y Parsons, 1972)
- c) **Nitritos:** Por diazoización, según el método desarrollado por Bendschainer y Robinson (En: Strickland y Parsons, 1972; Grasshoff et al., 1983).
- d) **Amonio:** Según el método descrito por Solórzano (En: Strickland y Parsons, 1972), el cual se basa en la reacción del amonio con el fenol e hipoclorito de sodio a altos valores de pH, produciendo el compuesto azul de indofenol.

La determinación analítica se realizó mediante el uso de un espectrofotómetro Spectronic 2000, BAUSCH & LOMB, a la longitud de onda específica para cada uno de los elementos nutritivos. El procedimiento detallado para el análisis de estos compuestos se describe en el manual de técnicas de Strickland y Parsons (1972) y Grasshoff et al. (1983).

### **Metales pesados:**

- a) La determinación analítica para el análisis de metales pesados en agua se realizó según el método de concentración por medio de resina CHELEX-100, haciendo una cromatografía de intercambio iónico (Kingston, et al., 1978). Cada muestra acidificada se paso a través de una columna de resina Chelex-100, con un flujo de 2 ml/min, enseguida se ajustó a un pH básico con  $\text{NH}_4\text{OH}$  para después eluir con  $\text{HNO}_3$  2.5 N arrastrando los cationes de los diferentes metales, quedando listas para su posterior análisis.

- b) Los sedimentos se secaron mediante una estufa a 60°C +/- 5°C, se analizaron de acuerdo a la técnica descrita por Chester y Voutsinou (1981); para extraer los iones metálicos; que implica la lixiviación de las muestras con HCl 0.5 N y agitación continua. Se filtró posteriormente para eliminar el sedimento y se recogieron los filtrados para su análisis por espectroscopía de absorción atómica.
- c) Los ostiones enconchados, fueron lavados con cepillo y enjuagados con agua desionizada, con el fin de eliminar objetos y materiales adheridos a su concha, se registraron algunas características morfométricas como: largo, ancho y peso, para homogeneizar el tamaño de los organismos, se procesaron sólo 5 g de la parte blanda de los ostiones, fueron colocados en una estufa a temperatura de 100°C, el tiempo necesario para obtener un peso constante (peso seco). Posteriormente, se pasaron a una mufla durante toda la noche hasta alcanzar lentamente una temperatura de 375°C. Se dejaron enfriar y las cenizas se mezclaron con ácido nítrico concentrado ultrapuro, llevándolo a un volumen de 250 ml con agua desionizada, se calentó a temperatura baja para completar la dilución de las cenizas y alcanzar el volumen a 10 ml. Fueron filtrados los 10 ml con papel Whatman No. 40 y filtros Millipore de 0.45 µm, previamente tratados, se aforó a un volumen final de 50 ml y se analizaron mediante espectroscopía de absorción atómica (Peña y Fowler, 1972).

La determinación analítica para la cuantificación de los metales en agua, sedimento y organismos se realizó empleando un espectrofotómetro de absorción atómica Varian modelo AA-1470, y lámparas de cátodo hueco, específicas para cada elemento.

#### TRABAJO DE GABINETE.

A los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio, se les calcularon las estadísticas básicas (rango, media, varianza y desviación estándar). Las variables estudiadas en agua, sedimento y ostiones fueron sometidas a un **Análisis Multivariado de Agrupamiento "Cluster"** para cada época (En: I.M.P., 1987); formando sistemas de matrices de 34 X 11 (34 parámetros, 11 estaciones), el cual considera distancias máximas y mínimas de los puntos afines, lo que permitió utilizar el método de "Agrupación Z", en donde se establece el supuesto de que los resultados son representativos de una población mínima con distribución normal, de tal manera que los datos individuales pueden ser transformados en unidades de desviación estándar ("Rankits" o desviaciones tipificadas):

$$Z = \frac{(Y_j - \bar{y})}{S \cdot n^{-1}}$$

- Donde:  $Y_j$  = Valor nominal  
 $y$  = Media de la muestra  
 $S_{n-1}$  = Desviación estándar de la muestra  
 $Z$  = Valor Z o Rankits

El uso de "Rankits" permite estandarizar los datos físico-químicos y llevarlos a una escala de variación, dentro de la cual, los valores Z son independientes de las unidades originales; presentan una variación uniforme, así como cero real. Estos valores son conjuntados por época a través de un dendrograma que representa las distancias euclidianas entre las varianzas estandarizadas (Romensburg, 1984). Un dendrograma es una manera de representar jerárquicamente un conjunto de características en función de la expresión cuantitativa de sus cualidades, muchas de ellas comunes entre sí; el grado de afinidad existente entre las partes, determina una mayor o menor proximidad en su representación gráfica. Para aplicar esta técnica y obtener el dendrograma de agrupación, se utilizó un algoritmo en computadora.

El **Índice de Fineza** de los sedimentos fue obtenido con la fórmula propuesta por (Satsmadjis y Voutsinou, 1983).

El Índice de Fineza es un reflejo de los porcentajes de arcilla y limo presentes en los sedimentos y se basa en el supuesto de que los suelos que presentan predominancia de partículas de diámetro fino, tienen mayor efecto en la acumulación de los contaminantes.

Se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$f = g + t/(0.2g + 5)$$

donde...

$f$  = Índice de Fineza

$g$  = Porcentaje de Arcillas (<0.004 mm)

$t$  = Porcentaje de Limos (0.0004-0.062 mm)

Los factores de acumulación de metales pesados fueron estimados según lo indicado en Rosas et al. (1983).

### 1. Sedimento:

Con relación a la distribución granulométrica del sedimento de acuerdo a la clasificación de Shepard, se observa en la tabla 1 y figura 3 que existe un mayor contenido porcentual de arenas, superior al 50% en 8 de las 11 estaciones muestreadas. En el resto de la laguna, la textura predominante es limo-arcillosa. La distribución sedimentaria (Fig. 3b) en las inmediaciones del río Tigre presenta una textura de tipo limo-arcilloso y en las cercanías de la boca de Chavarría se señala la presencia de arenas gruesas a medias, casi paralelas a las barras, (ests. 5, 6, 7 y 9). En la parte intermedia de la laguna y en sentido paralelo a la costa, el sedimento es de tipo areno-limoso y cerca de la margen continental areno-arcilloso, en el sentido indicado.

#### 2.1 pH del sedimento:

El pH del sedimento (Tabla 2; Fig. 4) varía en general entre 6.2 y 7.6 durante las épocas de lluvias 1984, nortes y lluvias 1985, aunque durante la temporada de lluvias 1984, es ligeramente menor en todos los puntos de muestreo, oscilando entre 6.2 y 7.0 unidades.

En la época de secas el pH del sedimento disminuye notablemente con un intervalo de 4.0 a 5.8 y en el banco ostrícola 7, se presenta el valor más bajo de pH (4.0) en esa temporada de muestreo; este sitio se localiza en la entrada de la laguna, en la boca de Chavarría.

#### 2.2 pH del agua:

Este parámetro presentó una oscilación de 5.9 a 8.4 en las temporadas de secas 1984 y lluvias 1985, en cambio durante la época de lluvias y nortes de 1984 varía muy poco: de 7.40 a 7.95; en la época de lluvias del siguiente año, el valor fue ligeramente mayor, fluctuando entre 7.8 y 8.3, manteniéndose por arriba de las 8 unidades (Tabla 2; Fig. 5). En general, en las primeras dos épocas el pH es menor en toda el área de estudio.

#### 2.3 Oxígeno disuelto:

En la tabla 2 y figura 6, se observa que en la temporada de secas de 1985 la concentración de oxígeno disuelto en los bancos 1, 2, 3, 6 y 8 es la mayor que se registra durante todo el ciclo estacional, el rango de concentración es de 5.03 ml/L a 11.20 ml/L, correspondiendo éste último valor al banco 2.

**TABLA 1. RESULTADOS DE LOS PARAMETROS SEDIMENTOLOGICOS  
VALORES PORCENTUALES.**

<b>BANCO</b>	<b>INDICE DE FINEZA</b>	<b>ARENA %</b>	<b>LIMO %</b>	<b>ARCILLA %</b>
1. PASO DE LOS RIVAS	13.8166	72.41	15.95	11.64
2. EMBARGADA	38.7946	20.08	44.86	35.06
3. BOQUILLA CHICA	22.7142	54.31	25.86	19.83
4. BOQUILLA GRANDE	49.2269	29.57	22.77	47.66
5. OYITAS	18.5659	69.21	13.88	16.91
6. CANAL DE HUESOS	5.3750	83.70	13.3	3.0
7. ALGODONES	10.2417	65.41	29.13	5.46
8. UVA	25.32	46.02	32.08	21.90
9. BARRANQUEÑO	8.9141	83.99	8.38	7.63
10. BAJO LOPEZ	23.4466	63.19	14.96	21.85
11. BAJO MORON	17.6976	57.28	28.7	14.02

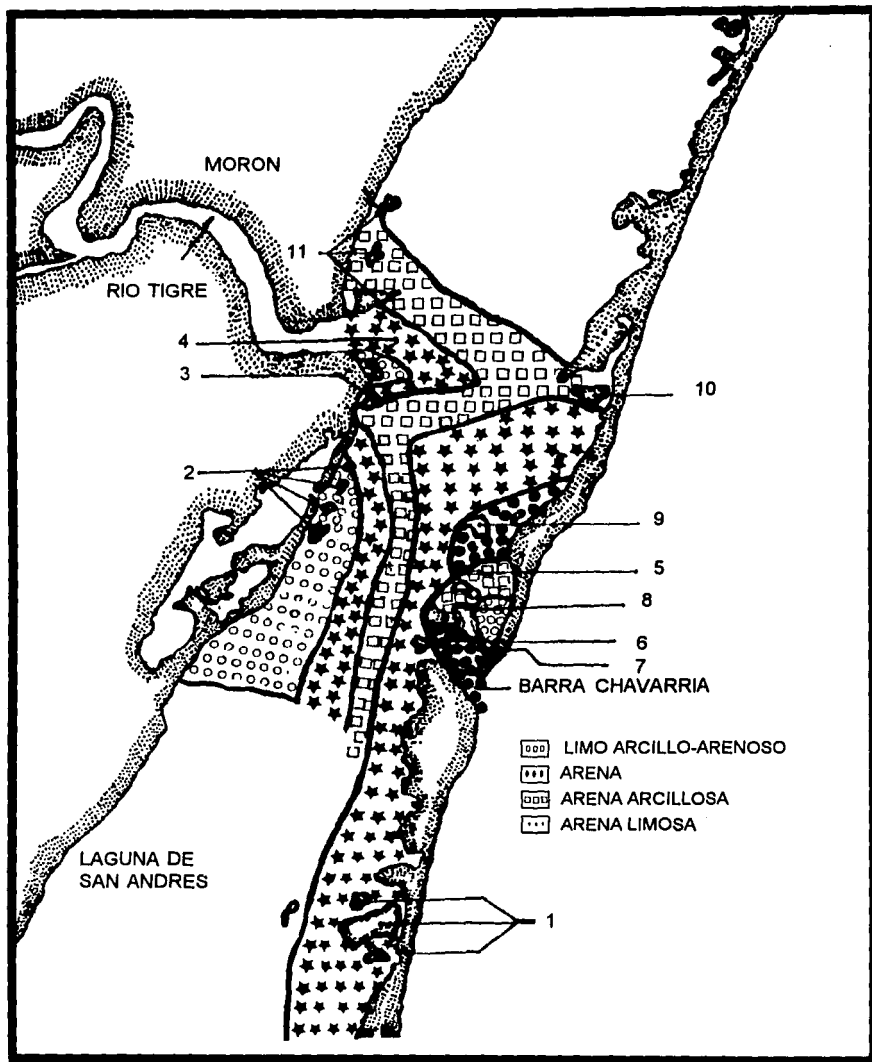


FIG. 3b DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DEL SEDIMENTO

## PARAMETROS TEXTURALES

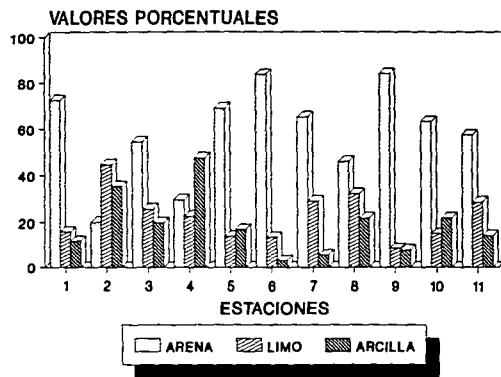


FIG.3. CONCENTRACION PORCENTUAL GRANULOMETRICA DEL SEDIMENTO

## pH DEL SEDIMENTO

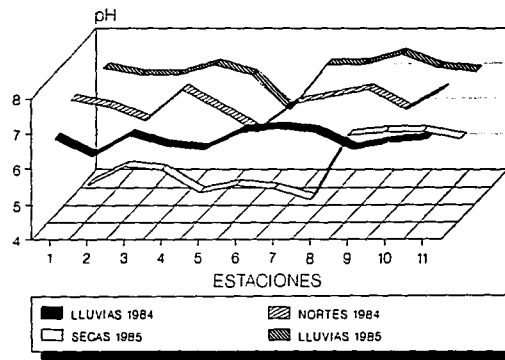


FIG.4.VARIACION ESTACIONAL DE pH DEL SEDIMENTO.

## pH DE LA COLUMNA DE AGUA

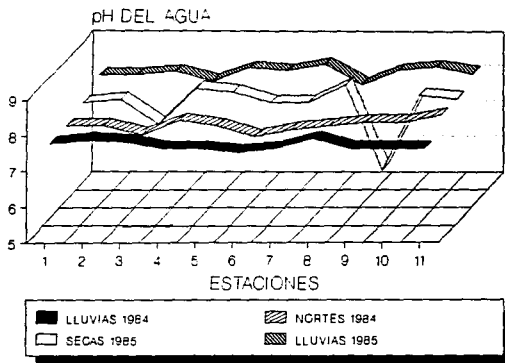


FIG.5.VARIACION ESTACIONAL DEL pH EN LA COLUMNA DE AGUA.

## OXIGENO DISUELTO.

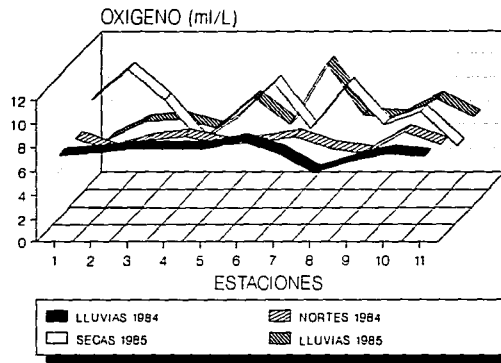


FIG.6.VARIACION ESTACIONAL DE OXIGENO DISUELTO.



En los dos primeros muestreos, lluvias y nortes de 1984, la oscilación es de 5.6 a 7.5 ml/L, con excepción de un valor en el banco 6, de 8.1 ml/L de oxígeno disuelto, durante la temporada de lluvias de 1984, siendo en general semejante el comportamiento entre ambas épocas. Mientras que durante lluvias de 1985, se encontraron las menores concentraciones, de 3.73 a 7.30 ml/L con un valor elevado en el banco 7 de 10.07 ml/L de oxígeno disuelto.

#### **2.4 Salinidad:**

De manera general, el comportamiento de la salinidad es muy particular (Tabla 2; Fig. 7), en la temporada de lluvias de 1984, se observan las menores salinidades registradas a lo largo del estudio con valores entre 10 y 28, encontrándose el valor más bajo en el banco 4, y aumentando gradualmente en las tres épocas restantes con algunas excepciones, alcanzando las mayores concentraciones en secas y lluvias de 1985. Durante secas la salinidad fluctúa entre 30 y 35 de modo general, y en la última temporada alcanza su mayor concentración oscilando entre 38 y 42.

#### **2.5 Temperatura:**

Este parámetro oscila de 24.5 a 33°C (Tabla 2; Fig. 8) durante el ciclo de muestreo; registrándose las temperaturas más bajas durante la temporada de nortes, cuyos valores fluctúan entre 24.5 y 27.8°C. En el resto de las estaciones la variación de la temperatura de una época con respecto a la otra, es de 27.5 a 32.5 °C, manifestando la estacionalidad que se presenta en la laguna. En cambio, cabe señalar que dentro de una misma temporada, la oscilación de la temperatura en los distintos bancos ostrícolas, es mínima.

#### **2.6 Alcalinidad:**

Este parámetro oscila entre 1.40 y 2.82 mmol/kg (Tabla 2), su distribución en la laguna en general es homogénea, sin mostrar variaciones significativas a lo largo del ciclo estacional.

#### **NUTRIMENTOS:**

En la tabla 3 se muestran los valores estacionales de los nutrimentos registrados durante el estudio.

#### **2.7 Nitratos:**

La concentración varía de no detectable a 4.3  $\mu\text{mol/L}$ , este último valor se registra durante las lluvias de 1984 en el banco 3. El comportamiento de este compuesto presenta características muy particulares, la máxima concentración se registra en la temporada de lluvias de 1984, en los bancos que se localizan al sur del río Tigre,

**TABLA 2. PARAMETROS FISICO QUIMICOS.**

**BANCO 1**

<b>EPOCA</b>	<b>TRANSPARENCIA m</b>	<b>TEMPERATURA ° C</b>	<b>SALINIDAD ‰</b>	<b>pH DEL AGUA</b>	<b>pH DEL SEDIMENTO</b>	<b>O<sub>2</sub> DI SUELTO mg/l</b>	<b>ALCALINIDAD meq/l</b>
Lluvias	0.78	29.45	28.00	7.65	6.70	6.90	2.03
Nortes	0.37	24.50	29.00	7.65	7.30	6.81	2.11
Secas	0.40	30.00	33.00	7.80	4.40	8.60	2.74
Lluvias	0.50	30.00	42.00	8.10	7.20	3.73	2.53

**BANCO 2**

<b>EPOCA</b>	<b>TRANSPARENCIA m</b>	<b>TEMPERATURA ° C</b>	<b>SALINIDAD ‰</b>	<b>pH DEL AGUA</b>	<b>pH DEL SEDIMENTO</b>	<b>O<sub>2</sub> DI SUELTO mg/l</b>	<b>ALCALINIDAD meq/l</b>
Lluvias	1.10	31.40	23.00	7.75	6.20	7.15	2.68
Nortes	0.40	25.20	33.00	7.65	7.10	5.77	2.42
Secas	0.40	29.00	35.00	7.90	4.90	11.2	1.63
Lluvias	0.40	28.00	40.00	8.10	7.00	5.2	2.79

**BANCO 3**

<b>EPOCA</b>	<b>TRANSPARENCIA m</b>	<b>TEMPERATURA ° C</b>	<b>SALINIDAD ‰</b>	<b>pH DEL AGUA</b>	<b>pH DEL SEDIMENTO</b>	<b>O<sub>2</sub> DI SUELTO mg/l</b>	<b>ALCALINIDAD meq/l</b>
Lluvias	0.60	30.80	17.00	7.70	6.80	7.47	2.82
Nortes	0.28	26.50	35.00	7.40	6.70	6.64	2.40
Secas	0.25	29.00	32.00	7.20	4.80	8.60	2.78
Lluvias	0.42	32.50	40.00	8.20	7.00	5.51	2.82

**BANCO 4**

<b>EPOCA</b>	<b>TRANSPARENCIA m</b>	<b>TEMPERATURA ° C</b>	<b>SALINIDAD ‰</b>	<b>pH DEL AGUA</b>	<b>pH DEL SEDIMENTO</b>	<b>O<sub>2</sub> DI SUELO mg/l</b>	<b>ALCALINIDAD meq/l</b>
Lluvias	0.55	29.40	10.00	7.50	6.50	0.00	2.71
Nortes	0.37	25.00	30.00	7.80	7.60	7.00	1.60
Secas	0.30	29.00	35.00	8.20	4.20	5.03	2.74
Lluvias	0.30	28.50	40.00	7.90	7.30	4.70	2.79

**BANCO 5**

<b>EPOCA</b>	<b>TRANSPARENCIA m</b>	<b>TEMPERATURA ° C</b>	<b>SALINIDAD ‰</b>	<b>pH DEL AGUA</b>	<b>pH DEL SEDIMENTO</b>	<b>O<sub>2</sub> DI SUELO mg/l</b>	<b>ALCALINIDAD meq/l</b>
Lluvias	1.25	27.40	26.00	7.50	6.40	7.47	2.42
Nortes	0.44	25.00	30.00	7.65	7.00	6.33	1.67
Secas	0.40	29.00	34.00	8.10	4.40	7.14	2.53
Lluvias	0.20	30.00	40.00	8.30	7.00	7.30	2.79

**BANCO 6**

<b>EPOCA</b>	<b>TRANSPARENCIA m</b>	<b>TEMPERATURA ° C</b>	<b>SALINIDAD ‰</b>	<b>pH DEL AGUA</b>	<b>pH DEL SEDIMENTO</b>	<b>O<sub>2</sub> DI SUELO mg/l</b>	<b>ALCALINIDAD meq/l</b>
Lluvias	0.90	27.70	26.00	7.40	6.90	8.11	2.29
Nortes	0.45	27.80	33.00	7.35	6.40	6.50	1.40
Secas	0.35	29.00	36.00	7.80	4.30	10.07	2.74
Lluvias	0.60	28.00	40.00	8.20	6.00	5.03	2.68

**BANCO 7**

<b>EPOCA</b>	<b>TRANSPARENCIA m</b>	<b>TEMPERATURA ° C</b>	<b>SALINIDAD ‰</b>	<b>pH DEL AGUA</b>	<b>pH DEL SEDIMENTO</b>	<b>O<sub>2</sub> DI SUELTO mg/l</b>	<b>ALCALINIDAD meq/l</b>
Lluvias	0.60	27.50	28.00	7.50	7.00	7.14	1.90
Nortes	0.25	26.30	30.00	7.55	7.20	7.00	2.71
Secas	0.20	28.80	40.00	7.80	4.00	6.17	1.90
Lluvias	0.40	28.00	40.00	8.40	7.30	10.20	2.79

**BANCO 8**

<b>EPOCA</b>	<b>TRANSPARENCIA m</b>	<b>TEMPERATURA ° C</b>	<b>SALINIDAD ‰</b>	<b>pH DEL AGUA</b>	<b>pH DEL SEDIMENTO</b>	<b>O<sub>2</sub> DI SUELTO mg/l</b>	<b>ALCALINIDAD meq/l</b>
Lluvias	1.15	28.40	28.00	7.80	6.90	5.51	2.11
Norte	0.72	25.00	23.00	7.65	7.40	6.01	2.58
Secas	0.28	32.00	36.00	8.30	5.80	9.90	2.79
Lluvias	0.40	31.00	38.00	7.80	7.30	5.84	2.79

**BANCO 9**

<b>EPOCA</b>	<b>TRANSPARENCIA m</b>	<b>TEMPERATURA ° C</b>	<b>SALINIDAD ‰</b>	<b>pH DEL AGUA</b>	<b>pH DEL SEDIMENTO</b>	<b>O<sub>2</sub> DI SUELTO mg/l</b>	<b>ALCALINIDAD meq/l</b>
Lluvias	1.10	27.90	23.00	7.50	6.40	6.50	2.29
Nortes	0.75	25.50	27.00	7.75	7.60	5.60	2.61
Secas	0.35	29.00	30.00	5.90	5.90	6.50	2.64
Lluvias	0.40	31.00	40.00	8.20	7.60	5.69	2.68

**BANCO 10**

EPOCA	TRANSPARENCIA m	TEMPERATURA ° C	SALINIDAD ‰	pH DEL AGUA	pH DEL SEDIMENTO	O <sub>2</sub> DI SUELO mg/l	ALCALINIDAD meq/l
Lluvias	0.75	28.80	24.00	7.50	6.60	7.14	2.42
Nortes	0.44	26.00	22.00	7.75	7.00	7.39	2.77
Secas	0.35	32.00	27.00	8.00	5.90	7.63	2.74
Lluvias	0.45	33.00	40.00	8.30	7.20	7.23	2.79

**BANCO 11**

EPOCA	TRANSPARENCIA m	TEMPERATURA ° C	SALINIDAD ‰	pH DEL AGUA	pH DEL SEDIMENTO	O <sub>2</sub> DI SUELO mg/l	ALCALINIDAD meq/l
Lluvias	0.52	30.50	21.00	7.50	6.70	6.90	2.29
Nortes	0.31	26.10	20.00	7.95	7.60	6.34	2.71
Secas	0.20	27.00	35.00	7.90	5.70	4.70	2.53
Lluvias	0.20	32.00	40.00	8.10	7.10	5.69	2.16

# SALINIDAD

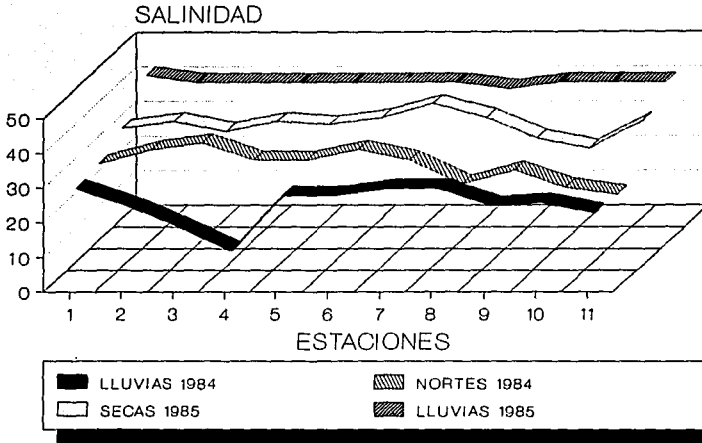


FIG.7.VARIACION ESTACIONAL DE LA SALINIDAD.

# TEMPERATURA DE LA COLUMNA DE AGUA

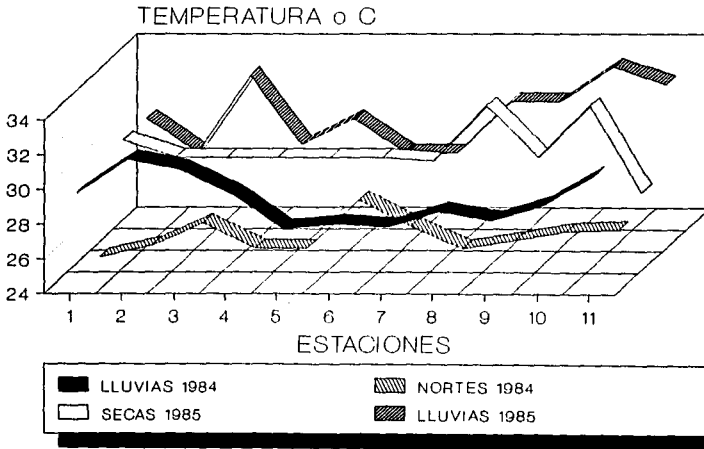


FIG.8.VARIACION ESTACIONAL DE LA TEMPERATURA.

**TABLA 3. NUTRIENTES.****BANCO 1**

<b>EPOCA</b>	<b>PROFUNDI DAD m</b>	<b>NITRATOS ug-át/l</b>	<b>NITRITOS ug-át/l</b>	<b>AMONIO ug-át/l</b>	<b>FOSFATOS ug-át/l</b>
Lluvias	1.30	1.83	0.271	0.53	0.363
Nortes	1.15	1.61	0.395	3.83	1.527
Secas	0.90	0.70	0.438	3.75	0.033
Lluvias	0.90	0.84	0.395	3.11	0.034

**BANCO 2**

<b>EPOCA</b>	<b>PROFUNDI DAD m</b>	<b>NITRATOS ug-át/l</b>	<b>NITRITOS ug-át/l</b>	<b>AMONIO ug-át/l</b>	<b>FOSFATOS ug-át/l</b>
Lluvias	2.68	1.84	0.361	0.28	0.050
Nortes	2.42	1.23	0.283	2.31	1.358
Secas	1.63	0.93	0.331	4.90	0.026
Lluvias	2.79	2.03	0.418	2.50	0.034

**BANCO 3**

<b>EPOCA</b>	<b>PROFUNDI DAD m</b>	<b>NITRATOS ug-át/l</b>	<b>NITRITOS ug-át/l</b>	<b>AMONIO ug-át/l</b>	<b>FOSFATOS ug-át/l</b>
Lluvias	0.80	4.33	0.241	1.45	0.026
Nortes	0.52	0.93	0.252	1.85	1.979
Secas	0.50	0.73	0.638	2.31	0.042
Lluvias	0.42	1.36	0.356	1.88	0.034

**BANCO 4**

EPOCA	PROFUNDI DAD m	NITRATOS ug-át/l	NITRITOS ug-át/l	AMONIO ug-át/l	FOSFATOS ug-át/l
Lluvias	1.20	2.20	0.196	1.45	0.081
Nortes	0.62	1.00	0.211	2.86	0.934
Secas	0.70	0.68	0.438	3.58	0.037
Lluvias	0.70	0.87	0.340	4.21	0.034

**BANCO 5**

EPOCA	PROFUNDI DAD m	NITRATOS ug-át/l	NITRITOS ug-át/l	AMONIO ug-át/l	FOSFATOS ug-át/l
Lluvias	1.30	N.D.	0.61	0.29	N.D.
Nortes	0.62	0.85	0.17	1.33	0.900
Secas	0.80	1.40	0.06	2.65	0.036
Lluvias	0.30	0.84	0.35	1.89	0.034

**BANCO 6**

EPOCA	PROFUNDI DAD m	NITRATOS ug-át/l	NITRITOS ug-át/l	AMONIO ug-át/l	FOSFATOS ug-át/l
Lluvias	1.50	N.D.	0.45	0.87	N.D.
Nortes	1.95	0.75	0.15	0.61	1.134
Secas	1.35	1.57	0.47	0.64	0.051
Lluvias	1.28	0.89	0.34	0.91	0.035



**BANCO 7**

EPOCA	PROFUNDI DAD m	NITRATOS ug-át/l	NITRITOS ug-át/l	AMONIO ug-át/l	FOSFATOS ug-át/l
Lluvias	0.60	N.D.	N.D.	0.53	N.D.
Nortes	0.25	0.98	0.21	0.76	1.562
Secas	0.20	1.89	0.28	3.41	0.058
Lluvias	0.40	0.94	0.34	1.62	0.034

**BANCO 8**

EPOCA	PROFUNDI DAD m	NITRATOS ug-át/l	NITRITOS ug-át/l	AMONIO ug-át/l	FOSFATOS ug-át/l
Lluvias	1.20	N.D.	0.001	2.02	N.D.
Nortes	0.83	0.63	0.120	1.10	0.364
Secas	0.28	1.04	0.160	0.470	0.036
Lluvias	1.00	0.97	0.340	1.260	0.034

**BANCO 9**

EPOCA	PROFUNDI DAD m	NITRATOS ug-át/l	NITRITOS ug-át/l	AMONIO ug-át/l	FOSFATOS ug-át/l
Lluvias	1.25	N.D.	0.03	2.02	N.D.
Nortes	1.12	0.80	0.17	2.42	0.749
Secas	0.75	0.73	0.27	1.73	0.037
Lluvias	0.70	0.87	0.34	2.08	0.034

**BANCO 10**

<b>EPOCA</b>	<b>PROFUNDI DAD m</b>	<b>NITRATOS ug-át/l</b>	<b>NITRITOS ug-át/l</b>	<b>AMONIO ug-át/l</b>	<b>FOSFATOS ug-át/l</b>
Lluvias	0.70	N.D.	0.12	0.81	0.033
Nortes	0.43	0.98	0.19	1.16	0.613
Secas	0.45	1.57	0.31	3.00	0.044
Lluvias	0.55	0.79	0.35	2.03	0.035

**BANCO 11**

<b>EPOCA</b>	<b>PROFUNDI DAD m</b>	<b>NITRATOS ug-át/l</b>	<b>NITRITOS ug-át/l</b>	<b>AMONIO ug-át/l</b>	<b>FOSFATOS ug-át/l</b>
Lluvias	0.75	1.16	0.48	1.91	0.108
Nortes	0.53	0.63	0.09	1.45	0.450
Secas	0.50	0.58	0.42	5.17	0.041
Lluvias	0.45	0.79	0.35	2.09	0.035

mientras que en secas, la menor concentración se presenta en la región norte de la desembocadura del río Tigre (0.58  $\mu\text{mol/L}$ ) y la mayor en la boca de la laguna (1.89  $\mu\text{mol/L}$ ) (Fig. 9).

### **2.8 Nitritos:**

Este compuesto oscila durante el ciclo estacional de manera general entre no detectable y 1.83  $\mu\text{mol/L}$ , encontrándose una distribución muy heterogénea, sin presentar un patrón definido, tanto espacial como temporalmente (Fig. 10).

### **2.9 Amonio:**

En general la concentración del amonio varía de 0.28 a 5.17  $\mu\text{mol/L}$ . En el primer muestreo (lluvias 1984) se presenta la menor concentración de este compuesto en la laguna, variando entre 0.28 y 2.02  $\mu\text{mol/L}$ , mientras que durante la temporada de secas, se presentaron concentraciones entre 0.64 y 5.17  $\mu\text{mol/L}$ . Este nutriente aumenta gradualmente en las épocas de nortes y lluvias de 1985, alcanzando el máximo valor en secas del año anterior (Fig. 11).

### **2.10 Ortofosfatos:**

En la temporada de nortes se registran las mayores concentraciones de fósforo en forma de ortofosfatos, con valores que fluctúan entre 0.36 y 1.979  $\mu\text{mol/L}$  de fósforo, lo que puede tener una fuerte relación con las condiciones imperantes en la región durante la época citada. En los tres muestreos restantes las concentraciones de fósforo se mantienen bajas, pero relativamente constantes, con un intervalo de concentración siempre menor de 0.1  $\mu\text{mol/L}$  (Fig. 12).

## **3. METALES TRAZA EN ORGANISMOS:**

En la tabla 4 se muestran los valores estacionales de los metales traza en organismos, registrados durante el estudio.

### **3.1 Hierro:**

El contenido de hierro en los ostiones de la laguna varía de 39.75 a 101.25 ppm; se registra una menor variación durante la temporada de secas que en el resto de las épocas de muestreo (Fig. 13).

El contenido de este elemento en los organismos a lo largo del estudio, presenta algunas fluctuaciones entre una época y otra. Los bancos 1, 2, 3, 4, 7 y 11, presentan concentraciones relativamente mayores que el resto de los puntos de muestreo.

### NITRATOS EN LA COLUMNA DE AGUA

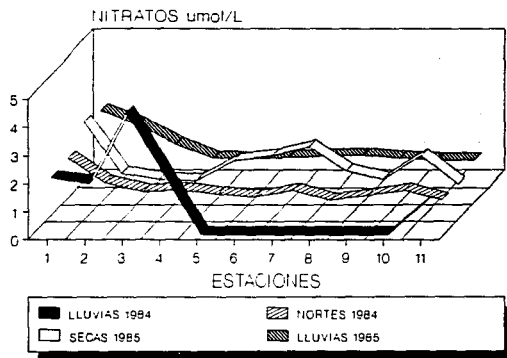


FIG.9.VARIACION ESTACIONAL DE LOS NITRATOS.

### NITRITOS EN LA COLUMNA DE AGUA

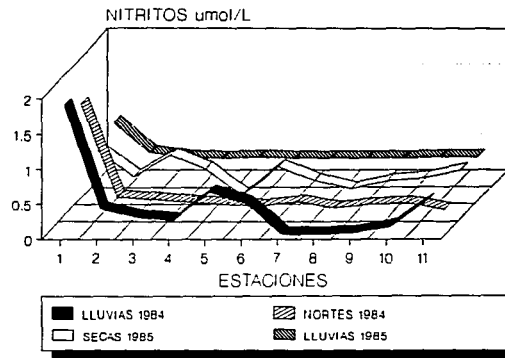


FIG.10.VARIACION ESTACIONAL DE LOS NITRITOS.

### AMONIO EN LA COLUMNA DE AGUA

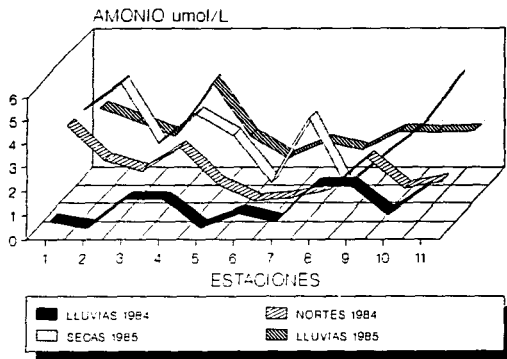


FIG.11.VARIACION ESTACIONAL DEL AMONIO.

### ORTOFOSFATOS EN LA COLUMNA DE AGUA

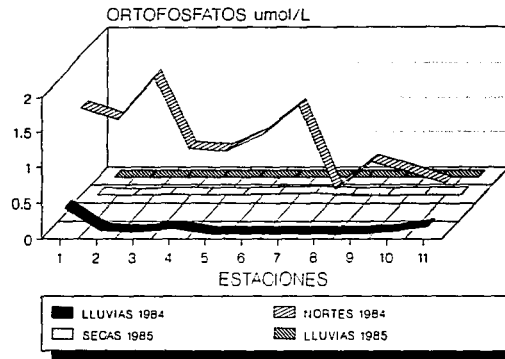


FIG.12.VARIACION ESTACIONAL DE ORTOFOSFATOS.

**TABLA 4. METALES PESADOS EN ORGANISMOS.****BANCO 1**

EPOCA	Fe ppm	Ni ppm	Cd ppm	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm	Pb ppm
Lluvias	53.70	3.75	2.25	48.00	2512.1	41.78	8.75
Nortes	65.63	3.75	2.25	37.50	3791.1	135.68	5.32
Secas	56.40	1.50	3.00	18.00	2743.9	32.10	3.72
Lluvias	39.75	3.00	3.00	13.50	1550.2	22.65	6.58

**BANCO 2**

EPOCA	Fe ppm	Ni ppm	Cd ppm	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm	Pb ppm
Lluvias	78.60	3.00	3.00	47.25	3465.8	75.90	8.25
Nortes	80.78	4.50	2.25	31.25	3063.7	43.43	7.78
Secas	64.80	3.00	3.00	31.50	3410.5	46.20	4.11
Lluvias	58.20	6.00	4.50	22.50	3147.0	31.05	4.11

**BANCO 3**

EPOCA	Fe ppm	Ni ppm	Cd ppm	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm	Pb ppm
Lluvias	59.85	4.50	3.00	22.50	4039.8	22.35	8.01
Nortes	101.25	2.25	3.00	45.00	4369.7	131.18	10.4
Secas	79.95	3.00	1.50	40.50	2821.5	37.05	3.25
Lluvias	68.40	3.00	3.00	13.50	2604.4	34.35	4.54



**BANCO 7**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	58.80	1.50	1.50	18.00	6371.4	115.5	6.10
Nortes	82.80	1.50	1.50	24.75	3541.6	94.95	6.11
Secas	71.55	1.50	1.50	22.50	2511.4	34.20	3.25
Lluvias	59.70	3.00	1.50	27.00	1686.0	9.00	3.25

**BANCO 8**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	51.60	4.50	4.5	18.00	5584.5	35.10	4.98
Nortes	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Secas	50.55	1.50	3.00	18.00	2201.4	31.05	6.27
Lluvias	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

**BANCO 9**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	-	-	-	-	-	-	-
Nortes	59.18	1.50	3.00	27.00	2495.8	46.43	6.89
Secas	54.60	1.50	3.00	13.50	2511.4	25.05	4.98
Lluvias	58.95	-	1.50	13.50	3364.0	3.53	3.25

**BANCO 10**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	-	-	-	-	-	-	-
Nortes	-	-	-	-	-	-	-
Secas	-	-	-	-	-	-	-
Lluvias	-	-	-	-	-	-	-

**BANCO 11**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	40.50	3.75	1.50	48.00	1604.2	44.78	7.13
Nortes	66.75	3.00	1.50	42.75	3034.6	30.60	9.21
Secas	50.10	3.00	1.50	18.00	5022.9	37.05	3.69
Lluvias	80.25	3.00	3.00	22.50	3069.6	32.70	4.18



### **3.2 Níquel:**

La concentración de níquel en los organismos de la laguna se registra entre 1.50 y 12.0 ppm. La máxima concentración se reporta en el banco 6 que se localiza en la boca de la laguna, durante la temporada de lluvias de 1984. En general no se observan importantes variaciones en la concentración a lo largo de todo el ciclo estacional (Fig. 14).

### **3.3 Cadmio:**

La concentración de éste elemento en los organismos se presenta en la figura 15, mostrando una oscilación entre 1.5 y 7.5 ppm, este valor máximo de 7.5 ppm, se registra durante la temporada de secas en la estación 4, en la desembocadura del río Tigre. Los bancos 6, 7, 8 y 11 se mantienen constantes durante todo el ciclo estacional con 1.5 ppm.

Los valores medios de concentración para las cuatro temporadas se encuentran entre 2.143 ppm (nortes) y 2.833 ppm (secas) lo que muestra que no existe variación significativa en el contenido de este elemento dentro de la laguna.

### **3.4 Manganeso:**

Este elemento varía de 13.50 a 49.50 ppm; en general muestra una distribución muy heterogénea. Las mayores concentraciones se localizan próximas a la desembocadura del río Tigre (Fig. 16). Mientras que la menor concentración se localiza en los bancos que están directamente afectados por el aporte de agua de mar que penetra a través de la boca de la laguna.

### **3.5 Zinc:**

El intervalo de concentración que se encuentra en los organismos es muy elevado, entre 269.4 y 6371 ppm en base peso seco. El valor más alto se localiza en los bancos 7 y 8, ambos valores durante el primer muestreo (lluvias 1984), el resto de los bancos registran concentraciones que no presentan variación muy marcada entre ellos y en las diferentes épocas (Fig. 17). A excepción del banco 4, que durante lluvias de 1984 presenta la más baja concentración, (269 ppm).

### **3.6 Cobre:**

Este elemento muestra grandes fluctuaciones durante el período de estudio, de manera general se advierte que durante las dos primeras épocas de muestreo se registran las mayores concentraciones de éste elemento en los organismos, fluctuando entre 22.35 y 135.68 ppm, y la menor concentración de éste durante la temporada de secas y lluvias de 1985, con una variación de 3.5 a 53.10 ppm.

### FIERRO EN ORGANISMOS

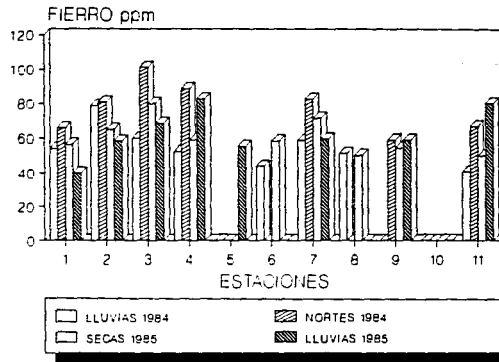


FIG.13.VARIACION ESTACIONAL DE FE EN ORGANISMOS.

### NIQUEL EN ORGANISMOS

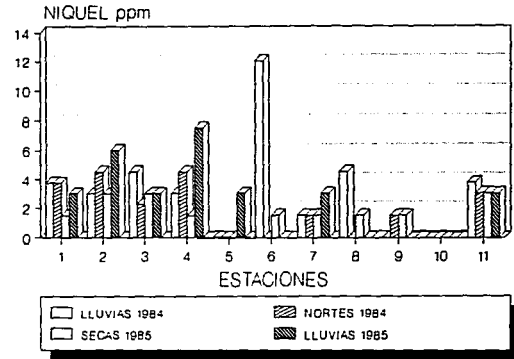


FIG.14.VARIACION ESTACIONAL DE NI EN ORGANISMOS.

### CADMIO EN ORGANISMOS

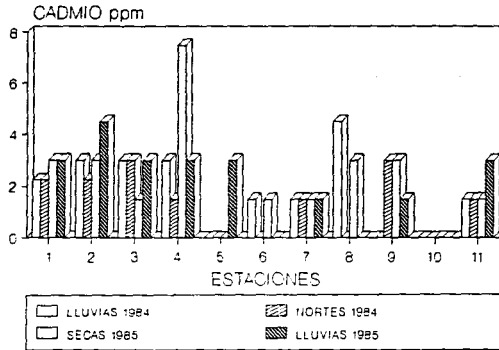


FIG.15.VARIACION ESTACIONAL DE CD EN ORGANISMOS

### MANGANESO EN ORGANISMOS

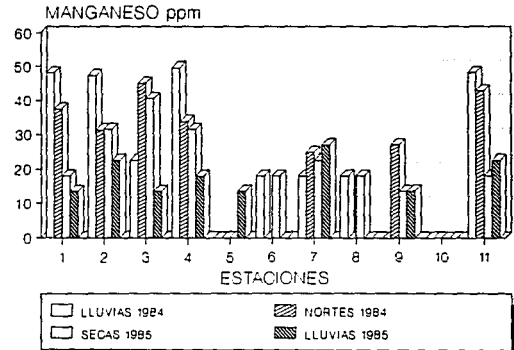


FIG.16.VARIACION DE MN EN ORGANISMOS

### ZINC EN ORGANISMOS

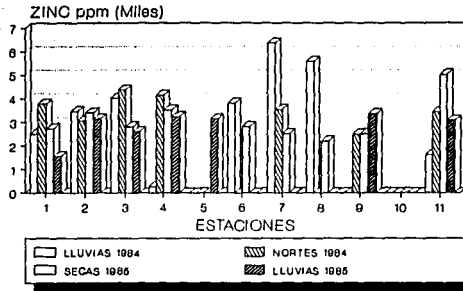


FIG.17.VARIACION ESTACIONAL DE ZN EN ORGANISMOS.

### COBRE EN ORGANISMOS

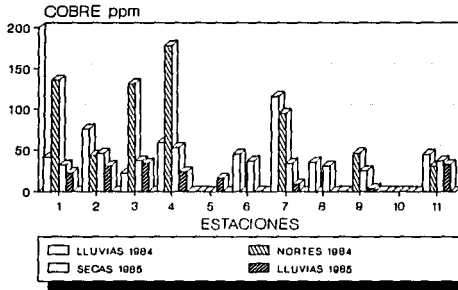


FIG.18.VARIACION ESTACIONAL DE CU EN ORGANISMOS.

### PLOMO EN ORGANISMOS

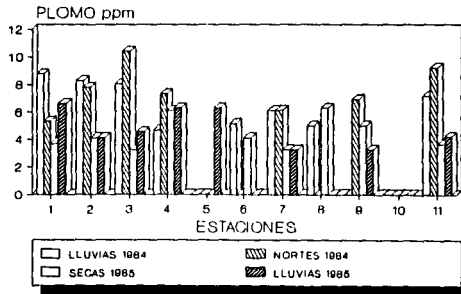


FIG.19.VARIACION ESTACIONAL DE PB EN ORGANISMOS.

La distribución general es muy heterogénea, pero en la figura 18, se puede apreciar que en los bancos 5, 6, 8, 9 y 11 se registran las menores concentraciones durante todo el ciclo estacional.

### **3.7 Plomo:**

La concentración de plomo se muestra en la figura 19 y oscila entre 3.25 y 10.4 ppm, registrándose las mayores concentraciones en los bancos que se ubican al norte de la desembocadura del río Tigre; de manera consistente se presentan concentraciones ligeramente más bajas durante la temporada de secas y la de lluvias de 1985.

## **4. METALES TRAZA EN SEDIMENTO:**

En la tabla 5 se muestran los valores estacionales de los metales traza en sedimento, registrados durante el estudio.

### **4.1 Hierro:**

La concentración de hierro adsorbida por el sedimento se encuentra entre 60 y 2955 ppm, siendo en general heterogénea, durante todo el tiempo de muestreo, (Fig. 20), se observan las mayores concentraciones en la temporada de lluvias de 1984. Durante las dos temporadas de lluvias se registran gradientes positivos de la Boca de Chavarrá hacia el suroeste de la laguna.

### **4.2 Níquel:**

El níquel se mantiene entre 2.36 y 10.04 ppm registrándose los valores más bajos en la temporada de nortes. Durante la época de lluvias de 1984, secas y lluvias de 1985 se presenta una distribución muy homogénea entre 3.4 y 8 ppm; se observan las mayores concentraciones en la zona de la desembocadura del río Tigre (Fig. 21).

### **4.3 Cadmio:**

La distribución del cadmio en el sedimento presenta valores que oscilan de 0.49 a 1.95 ppm, durante el ciclo estacional (Fig. 22). Se observa que durante las dos primeras épocas (lluvias y nortes de 1984), la concentración oscila de 0.49 a 1.75 ppm. En las dos siguientes épocas (secas y lluvias de 1985), se incrementa ligeramente la concentración de este elemento.

### **4.4 Manganeso:**

La concentración oscila de 60 a 397 ppm (Fig. 23). Los mayores valores se registran durante la temporada de nortes y lluvias de 1984 y los menores en los bancos 9 y 10 en las 4 épocas.

**TABLA 5. METALES PESADOS EN SEDIMENTOS.**

**BANCO 1**

EPOCA	Fe ppm	Ni ppm	Cd ppm	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm	Co ppm	Pb ppm
Lluvias	2130	7.28	0.83	135	10.9	3.01	3.75	9.29
Nortes	915	3.39	0.67	105	8.84	5.22	3.46	10.35
Secas	1335	4.12	0.49	75	14.9	10.9	3.09	7.39
Lluvias	1695	5.13	0.76	105	10.3	3.13	3.68	8.46

**BANCO 2**

EPOCA	Fe ppm	Ni ppm	Cd ppm	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm	Co ppm	Pb ppm
Lluvias	1245	6.56	1.06	397	12.8	3.99	5.83	15.4
Nortes	1245	6.18	1.13	285	12.2	10.2	5.30	10.9
Secas	2775	8.61	1.23	315	10.0	5.78	6.18	21.6
Lluvias	1935	8.74	1.81	285	15.7	5.68	6.62	16.5

**BANCO 3**

EPOCA	Fe ppm	Ni ppm	Cd ppm	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm	Co ppm	Pb ppm
Lluvias	1065	8.07	1.38	255	9.48	2.72	6.63	15.5
Nortes	795	5.96	1.17	202	9.00	7.31	4.78	13.8
Secas	60	6.87	1.95	150	3.37	1.49	5.44	10.83
Lluvias	150	6.58	1.51	75	1.48	0.78	5.74	10.30

**BANCO 4**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Co ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	2325	10.04	1.18	240	14.7	4.55	6.79	14.25
Nortes	945	5.89	1.17	247	11.7	10.9	4.81	14.97
Secas	-	-	-	-	-	-	-	-
Lluvias	1905	9.48	1.40	225	13.6	4.35	6.47	14.35

**BANCO 5**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Co ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	2310	6.23	0.82	135	11.8	2.72	4.54	9.55
Nortes	600	2.36	0.65	60	7.50	6.19	3.08	7.21
Secas	1035	3.40	0.62	135	7.53	4.04	2.65	7.13
Lluvias	990	4.84	0.11	90	8.49	2.72	3.24	8.46

**BANCO 6**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Co ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	2910	7.54	1.02	225	11.2	3.23	5.21	11.12
Nortes	690	5.15	1.75	270	6.2	4.66	4.27	10.34
Secas	2715	7.16	0.82	135	15.4	4.04	4.86	10.87
Lluvias	1005	7.02	1.64	180	7.72	2.31	6.47	14.61

**BANCO 7**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Co ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	1185	4.91	1.13	135	8.64	0.98	4.20	10.6
Nortes	1290	4.42	1.34	135	10.3	4.15	3.68	11.67
Secas	1215	4.41	1.47	120	8.43	3.23	3.39	9.53
Lluvias	1005	6.58	1.27	195	13.6	3.64	5.00	13.28

**BANCO 8**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Co ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	2790	7.81	1.10	225	16.3	3.13	5.78	12.42
Nortes	1155	3.77	0.73	135	9.62	5.63	3.47	10.03
Secas	1725	5.86	0.83	105	13.0	6.80	4.12	11.41
Lluvias	2580	6.44	1.27	180	11.6	2.82	5.44	12.74

**BANCO 9**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Co ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	1740	4.39	0.82	90	6.30	1.90	4.31	8.77
Nortes	660	2.95	0.55	82	8.52	5.94	3.07	8.62
Secas	1470	4.99	0.93	105	9.54	2.82	3.39	10.07
Lluvias	1876	6.73	1.64	60	2.34	0.88	5.88	10.60

**BANCO 10**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Co ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	2955	6.49	1.24	90	9.48	3.64	4.87	12.95
Nortes	1140	5.59	0.86	90	16.2	18.6	4.20	15.56
Secas	-	-	-	-	-	-	-	-
Lluvias	180	6.73	1.23	75	9.87	3.02	5.15	10.60

**BANCO 11**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Ni ppm</b>	<b>Cd ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Co ppm</b>	<b>Pb ppm</b>
Lluvias	735	6.43	1.35	270	9.32	1.95	5.66	12.82
Nortes	780	5.89	1.21	412	6.92	5.47	5.10	14.24
Secas	1845	8.18	1.33	360	16.6	12.9	6.18	14.35
Lluvias	75	7.31	1.81	150	3.13	0.58	5.88	9.53



### FIERRO EN SEDIMENTO

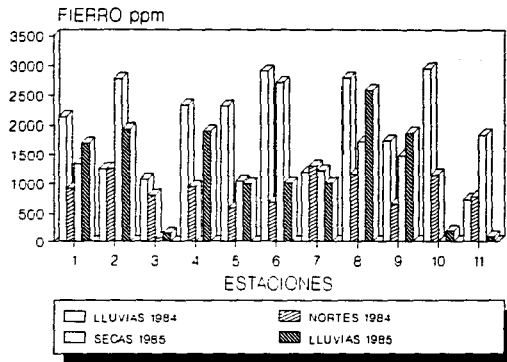


FIG.20.VARIACION ESTACIONAL DE FE EN SEDIMENTO.

### NIQUEL EN SEDIMENTO

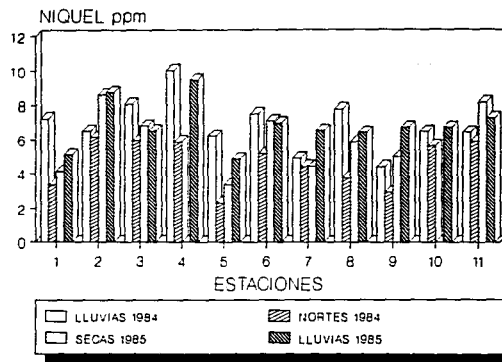


FIG.21.VARIACION ESTACIONAL DE NI EN EL SEDIMENTO.

### CADMIO EN SEDIMENTO

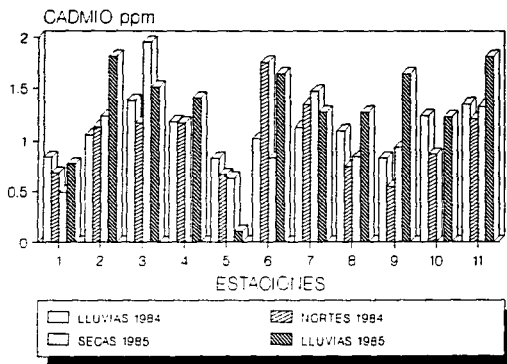


FIG.22.VARIACION ESTACIONAL DE CD EN SEDIMENTO.

### MANGANESO EN SEDIMENTO

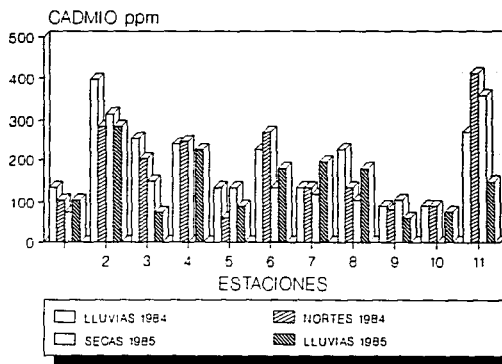


FIG.23.VARIACION ESTACIONAL DE MN EN EL SEDIMENTO.

#### **4.5 Zinc:**

La concentración de zinc fluctúa entre 1.48 y 16.6 ppm, en general la variación va de 8 a 12 ppm, rango que predomina en la totalidad de la laguna, encontrándose valores casi constantes para las distintas temporadas de muestreo (Fig. 24).

#### **4.6 Cobre:**

La concentración de cobre en el sedimento de la laguna oscila entre 0.78 y 10.6 ppm, el valor más elevado se presenta en la temporada de nortes y corresponde al banco 10, el cual se localiza en la zona opuesta de la desembocadura de la laguna, próximo a las barras y el menor al banco 3, durante las lluvias de 1985 (Fig. 25).

#### **4.7 Cobalto:**

Este metal fluctúa entre 2.65 y 6.79 ppm, correspondientes a secas en el banco 5 y lluvias de 1984 en el banco 4, mostrando un comportamiento similar en todas las épocas de muestreo (estaciones 4 y 10). Se registran valores bajos en el banco 1 durante todo el período de estudio (entre 3.09 y 3.75 ppm) (Fig. 26).

#### **4.8 Plomo:**

La concentración de este elemento en el sedimento de la laguna es muy heterogénea en los cuatro muestreos (Fig. 27), oscila entre 7.13 y 21.6 ppm, éste último valor en la temporada de secas en el banco 2 y el primero en la de secas en el banco 5. En general durante las épocas de lluvias de 1984, nortes y lluvias de 1985, la concentración de plomo en la laguna presenta una homogeneidad en lo que a distribución se refiere, con valores entre 9.29 y 16.5 ppm, las menores concentraciones se encuentran por lo general cerca de la boca de la laguna y paralelas a las barras, en tanto que las mayores se presentan de manera aislada al sur del río Tigre.

### **5. METALES EN LA COLUMNA DE AGUA:**

En la tabla 6 se muestran los valores estacionales de los metales traza en la columna de agua, registrados durante el estudio.

#### **5.1 Hierro:**

El intervalo de concentración del hierro fluctúa entre 2.152 (banco 9, lluvias de 1984) y 49.444 ppb (banco 3, secas), encontrándose que durante el primer muestreo se registran las menores concentraciones (2.152-11.641 ppb).

En la temporada de secas se presentan concentraciones que muestran un gradiente

### ZINC EN SEDIMENTO

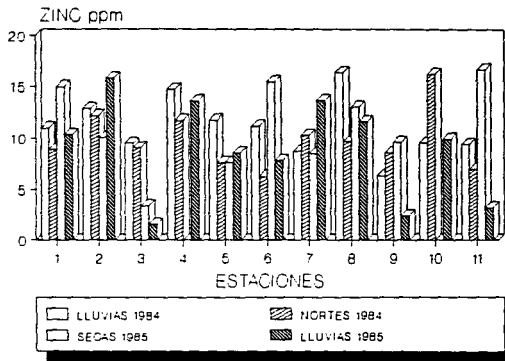


FIG. 24.VARIACION ESTACIONAL DE ZN EN EL SEDIMENTO.

### COBRE EN SEDIMENTO

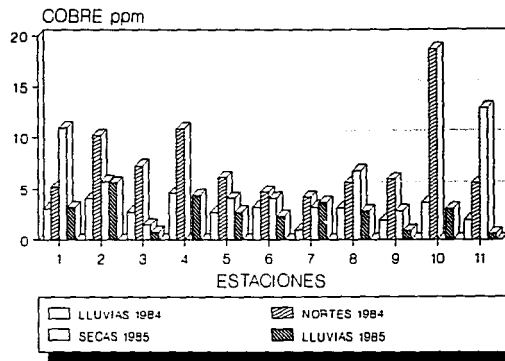


FIG.25.VARIACION ESTACIONAL DE CU EN EL SEDIMENTO.

### COBALTO EN SEDIMENTO

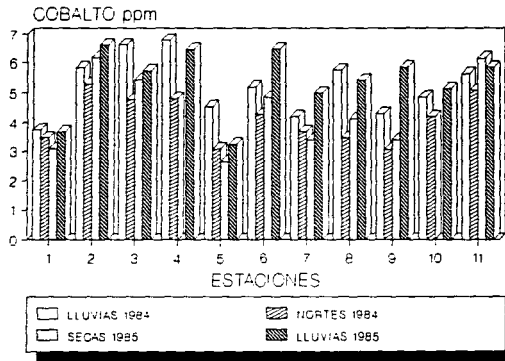


FIG.26.VARIACION ESTACIONAL DE CO EN EL SEDIMENTO.

### PLOMO EN SEDIMENTO

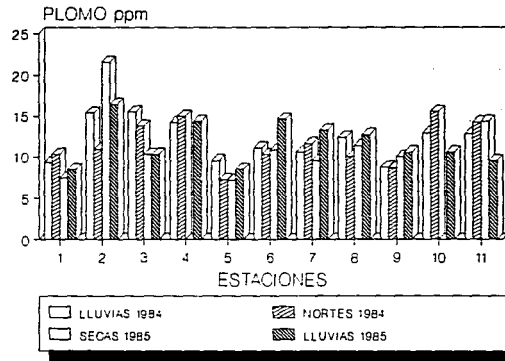


FIG.27.VARIACION ESTACIONAL DE PB EN EL SEDIMENTO.

**TABLA 6. METALES PESADOS EN AGUA.****BANCO 1**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	9.268	2.898	0.333	0.647	7.098	8.425	3.70
Nortes	16.648	1.268	0.228	0.437	4.393	0.540	1.034
Secas	10.890	N.D.	N.D.	0.644	1.247	1.688	0.653
Lluvias	12.550	0.911	0.145	1.798	3.980	0.175	0.614

**BANCO 2**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	11.641	3.828	0.337	1.725	9.979	6.736	5.025
Nortes	31.254	0.135	0.257	0.483	4.686	0.283	1.386
Secas	41.877	N.D.	0.122	0.131	0.759	0.745	0.475
Lluvias	16.045	0.330	0.195	0.094	1.584	0.039	0.125

**BANCO 3**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	4.118	1.445	0.442	0.946	12.51	5.965	2.533
Nortes	27.753	0.967	0.053	0.187	4.000	0.307	0.885
Secas	44.956	0.716	0.158	0.150	2.142	0.066	0.053
Lluvias	49.444	1.238	N.D.	0.158	0.376	0.392	1.106

**BANCO 4**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	5.683	1.828	0.339	2.780	12.27	9.950	4.539
Nortes	23.645	2.169	0.699	0.213	7.052	1.020	1.267
Secas	39.372	0.069	0.109	0.113	0.959	0.175	0.333
Lluvias	17.186	N.D.	0.320	N.D.	6.075	1.629	1.066

**BANCO 5**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	3.831	0.954	0.356	0.187	4.323	1.118	0.832
Nortes	21.158	0.563	0.313	0.205	5.775	0.513	0.921
Secas	43.652	1.818	0.271	0.946	4.283	0.990	0.053
Lluvias	26.327	0.264	0.257	1.800	1.393	0.121	0.545

**BANCO 6**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	3.887	1.719	0.578	2.078	2.890	7.708	3.384
Nortes	29.684	0.636	0.447	0.900	6.397	0.166	0.806
Secas	39.164	0.716	0.257	0.057	0.713	0.083	2.716
Lluvias	21.747	N.D.	0.234	N.D.	4.386	1.823	1.340

**BANCO 7**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	4.699	1.828	0.784	0.261	9.458	1.094	1.136
Nortes	31.253	0.764	0.109	0.317	7.161	0.261	0.863
Secas	31.446	N.D.	0.397	0.083	2.109	1.629	1.066
Lluvias	29.915	0.124	0.221	0.484	5.650	1.707	0.927

**BANCO 8**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	4.062	1.119	0.020	2.426	5.610	4.084	1.379
Nortes	38.46	1.075	0.548	1.734	10.28	1.404	1.516
Secas	32.22	0.135	0.109	0.094	0.512	0.582	0.125
Lluvias	-	-	-	-	-	-	-

**BANCO 9**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	2.152	1.337	1.158	0.567	8.059	0.499	1.622
Nortes	29.847	0.941	0.234	0.345	4.432	0.537	0.757
Secas	27.875	N.D.	0.298	N.D.	2.851	1.707	1.066
Lluvias	30.396	0.069	N.D.	0.094	0.512	0.338	0.195

**BANCO 10**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	4.815	1.445	1.102	2.354	9.669	3.243	2.229
Nortes	23.981	0.862	0.073	0.187	5.397	0.430	0.791
Secas	14.949	N.D.	0.307	0.335	0.891	0.229	0.475
Lluvias	23.041	0.446	0.455	1.808	9.468	2.057	2.168

**BANCO 11**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	19.538	2.713	0.310	0.863	4.399	2.396	3.554
Nortes	33.919	1.185	0.091	0.622	4.736	0.552	1.141
Secas	33.944	1.495	0.356	0.150	13.43	0.859	1.033
Lluvias	4.561	N.D.	0.257	0.729	4.458	1.707	0.927

**RIO TIGRE**

<b>EPOCA</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Mn ppb</b>	<b>Zn ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Pb ppb</b>
Lluvias	5.564	0.845	0.010	0.113	3.887	1.046	0.771
Nortes	25.384	0.916	0.480	1.697	6.323	0.696	1.279
Secas	48.296	0.198	0.419	0.280	4.640	1.832	0.475
Lluvias	23.450	N.D.	0.257	0.280	6.842	1.901	1.204

positivo hacia el interior de la laguna a partir de la boca, aproximándose a la desembocadura del río Tigre. Finalmente, durante lluvias de 1985, se registran las mayores fluctuaciones (12.5 a 49.444 ppb). Los mayores valores se observan entre las zonas de influencia del río Tigre y la barra de Chavarría (Fig. 28).

### **5.2 Níquel:**

El intervalo de variación de este elemento se registra, entre no detectable y 3.828 ppb, correspondiendo este último valor a lluvias de 1984, en la porción central de la laguna, próxima a la línea de costa, frente a la barra de Chavarría. El gradiente observado señala la presencia de valores más altos en la margen opuesta a la barra (Fig. 29).

### **5.3 Cadmio:**

La concentración de cadmio en la columna de agua oscila entre valores por debajo del límite de detección y 1.16 ppb, durante todo el ciclo estacional. Los valores máximos se observan durante la temporada de lluvias de 1984 (banco 9) y los mínimos en la de secas (banco 1) y lluvias de 1985 (banco 3).

La tendencia de la distribución horizontal denota la presencia de mayores valores en la boca, los cuales disminuyen hacia el sur y en la zona norte, donde decrecen hacia la desembocadura del río, en forma paralela a la barra (Fig. 30).

### **5.4 Manganeso:**

El intervalo de variación de este metal va de no detectable a 2.78 ppb. Durante todo el ciclo estacional su distribución es muy heterogénea, encontrándose las mayores concentraciones durante las dos primeras temporadas (lluvias 1984 y nortes). Se localizan los valores más altos en los bancos 4 y 8, ubicados en la desembocadura del río Tigre y en las cercanías de la boca (Fig. 31).

### **5.5 Zinc:**

La concentración de zinc en la laguna de San Andrés es muy heterogénea durante todo el ciclo estacional, con una variación de 0.38 a 13.43 ppb. En la temporada de lluvias de 1984 se observa la mayor concentración en las cercanías de la barra de Chavarría con valores de hasta 12.0 ppb. En los tres muestreos siguientes se ubican las mayores concentraciones en las cercanías de la desembocadura de río Tigre y en la boca; en estas épocas las concentraciones son más bajas que durante el primer muestreo (Fig. 32).

### **5.6 Cobre:**

Este elemento varía de 0.039 a 9.95 ppb, la mayor concentración se registra durante



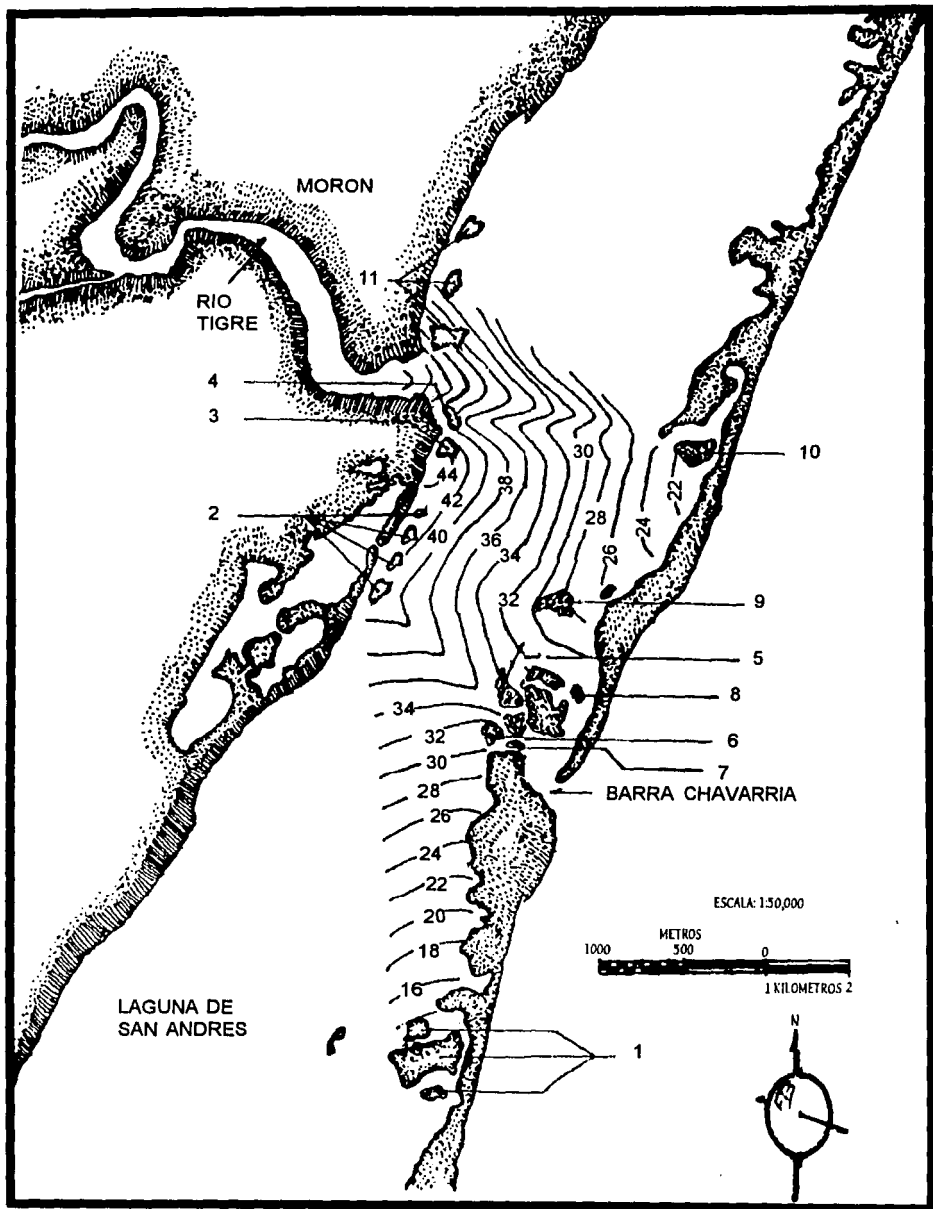


FIG. 28 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE HIERRO (ppb) EN AGUA EN LA LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMP., MEX.

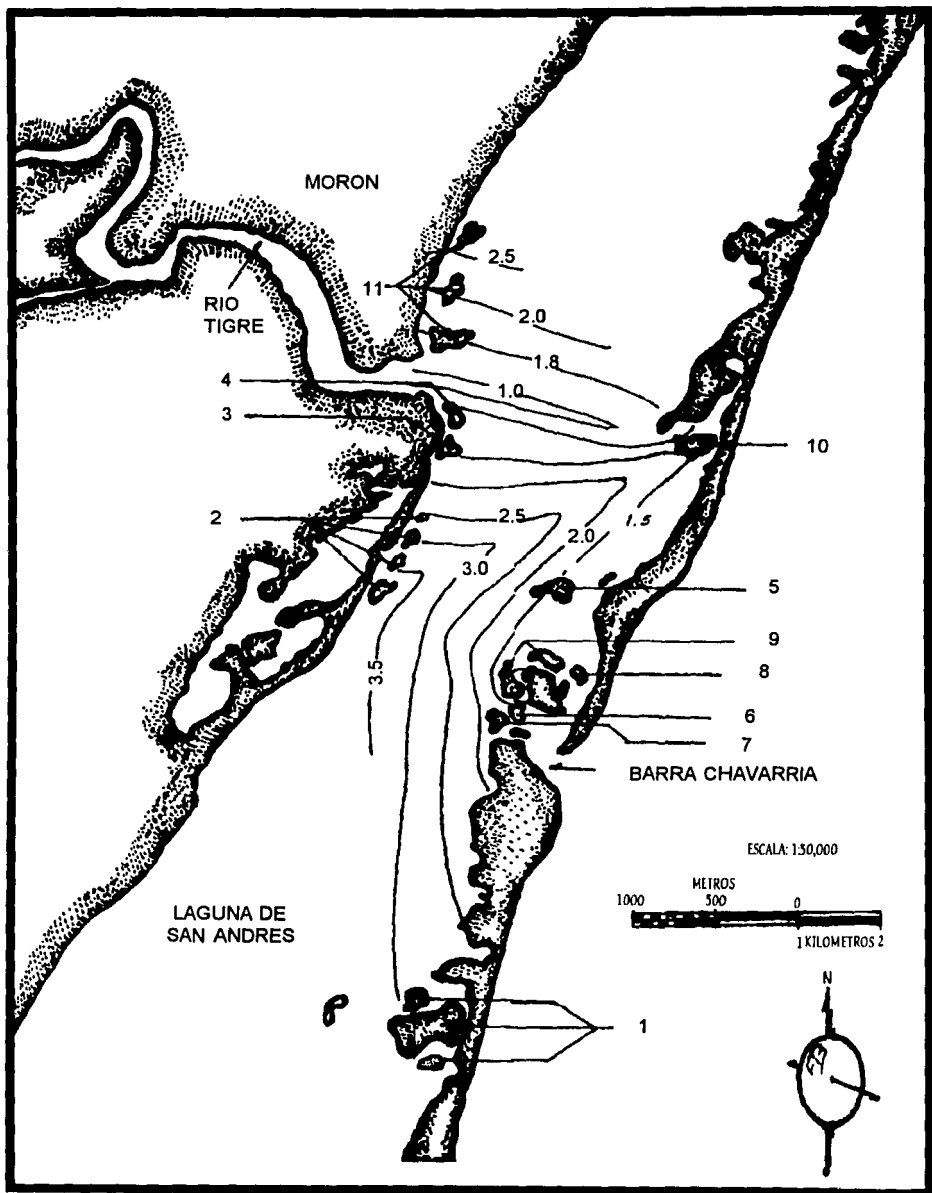


FIG. 29 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE NIQUEL (ppb) EN AGUA EN LA LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMPS., MEX.

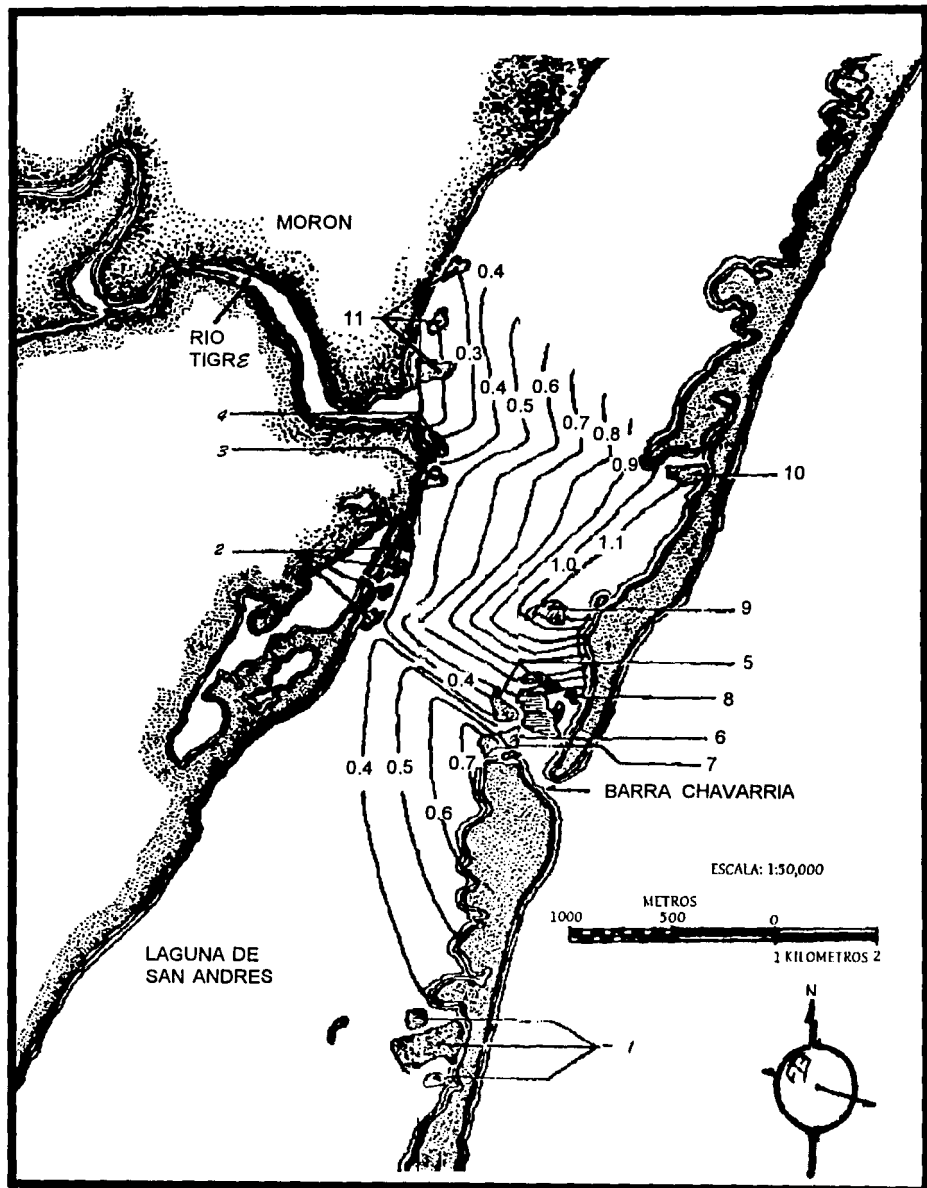


FIG. 30 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE CADMIO (ppb) EN AGUA EN LA LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMPS., MEX.

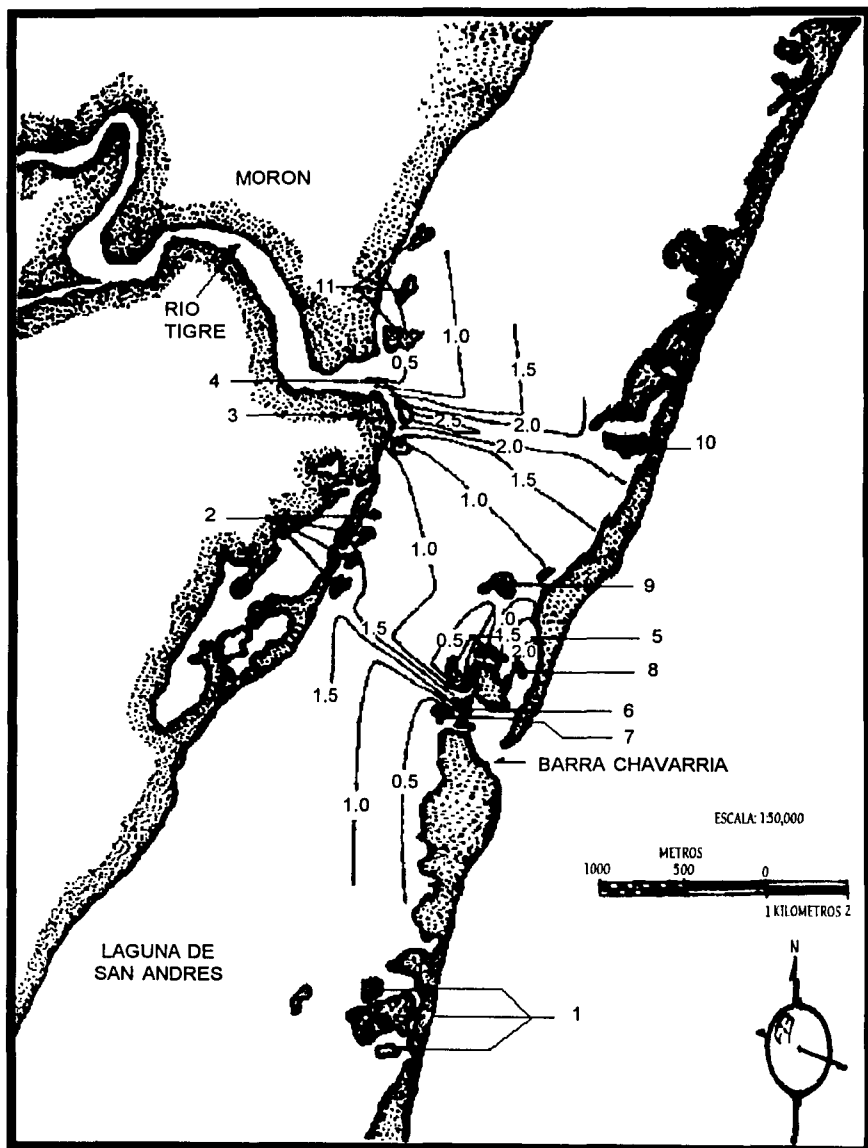


FIG. 31 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE MANGANESO (ppb) EN AGUA EN LA LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMPAS., MEX.

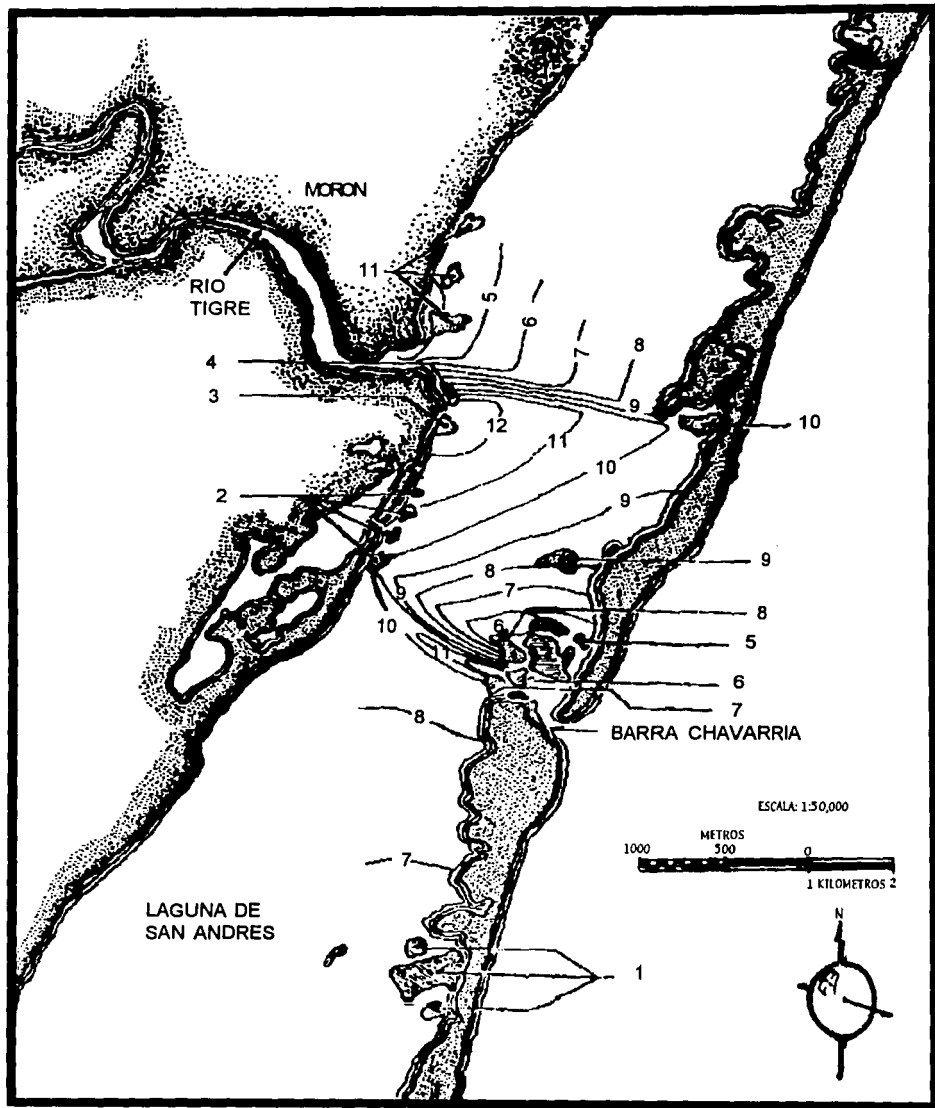


FIG. 32 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE ZINC (ppb) EN AGUA EN LA LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMPS., MEX.

la temporada de lluvias de 1984, en la desembocadura del río Tigre, decreciendo hacia el interior. En tanto que en la boca de la laguna, el desplazamiento de las isoclinas es de manera inversa, mostrando un gradiente positivo hacia ambos lados de la boca (Fig. 33).

En los tres muestreos restantes el rango de concentración de éste metal es en general de 0.5 a 2.0 ppb, siendo su distribución bastante regular durante la temporada de nortes, en tanto que en las dos restantes, la distribución es muy heterogénea, sin mostrar un patrón bien definido; sin embargo, se podría establecer a la desembocadura del río y a la boca de la laguna, como los sitios donde se ubican las mayores concentraciones.

### **5.7 Cobalto:**

Este elemento no se detecta en la columna de agua de la laguna de San Andrés en ninguno de los períodos considerados.

### **5.8 Plomo:**

El plomo presenta su mayor concentración en la laguna durante la temporada de lluvias de 1984 (5.02 ppb, banco 2), con un valor mínimo de 0.771 ppb (río Tigre). Se observan las menores concentraciones en la barra de Chavarría (bancos 5-8), incrementándose hacia el banco 2 en la costa continental, frente a la barra. En la desembocadura del río (banco 4) se registran también valores elevados. En general es escaso este elemento en la laguna (Fig. 34).

### **6.0 INDICE DE FINEZA:**

El rango que presentó el Índice de Fineza fue de 5.37 en el banco 6, con alta proporción de arenas, a 49,223 en el banco 4, con predominancia de arenas arcillosas. Existió alta correspondencia entre las isoclinas de distribución espacial del índice de fineza y las de los metales pesados en el sustrato (Fig. 35).

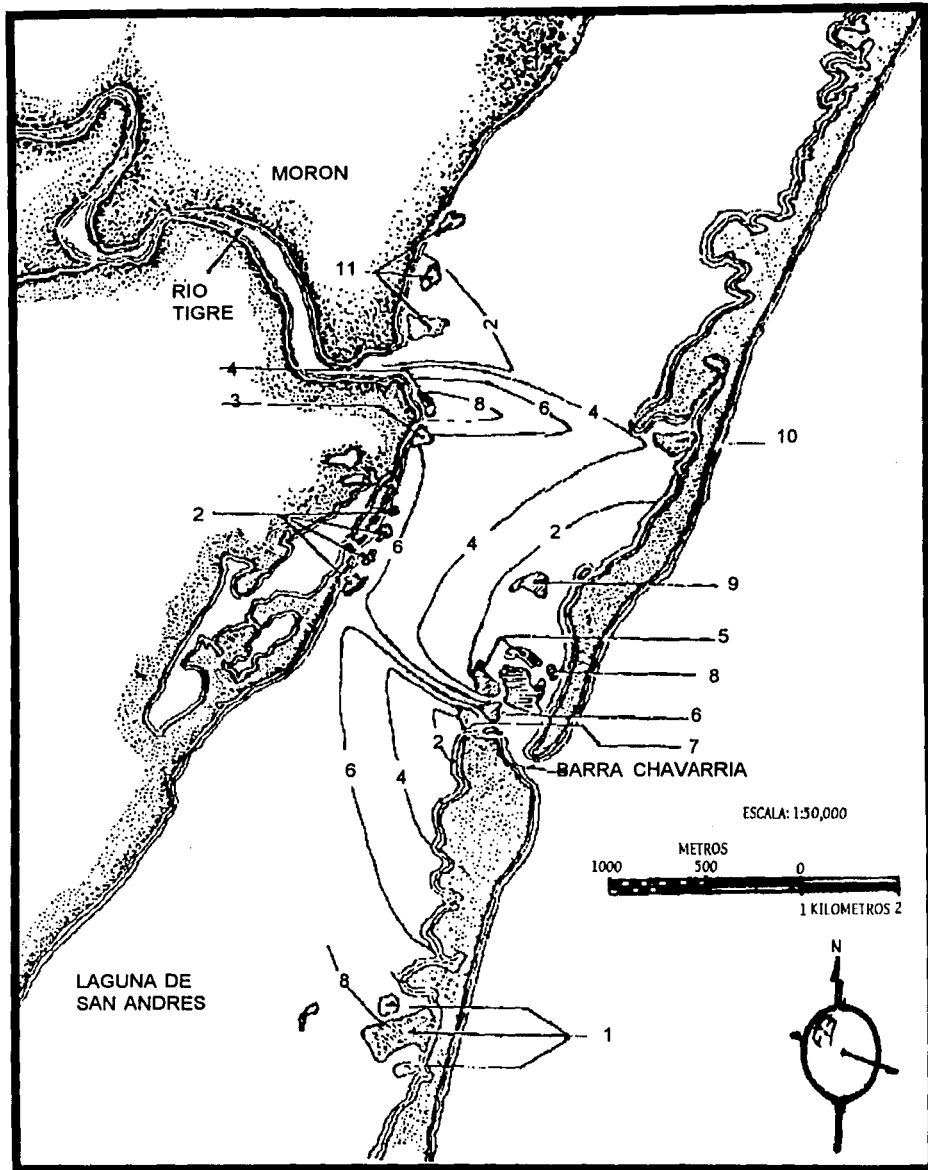


FIG. 33 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE COBRE (ppb) EN AGUA EN LA LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMPS., MEX.

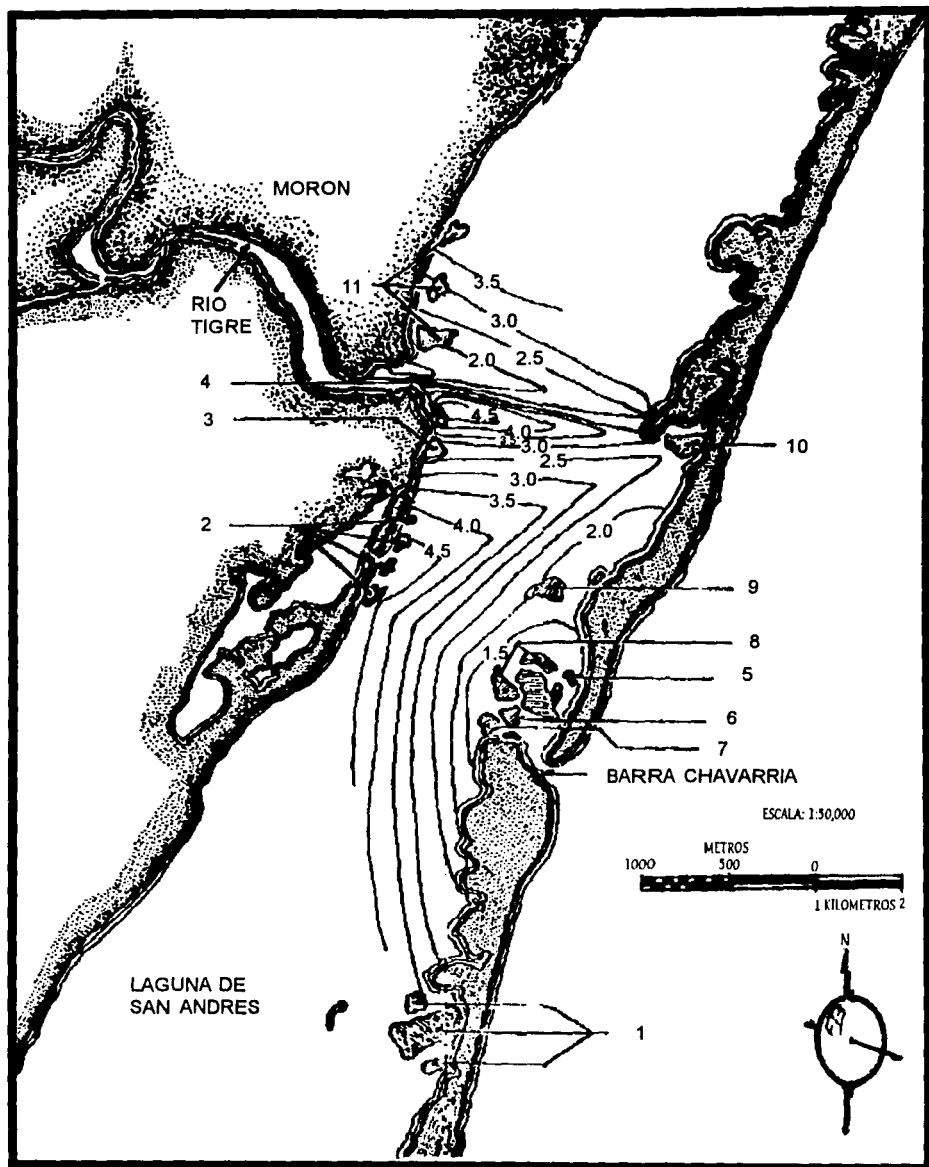


FIG. 34 DISTRIBUCION HORIZONTAL DE PLOMO (ppb) EN AGUA EN LA LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMPS., MEX.



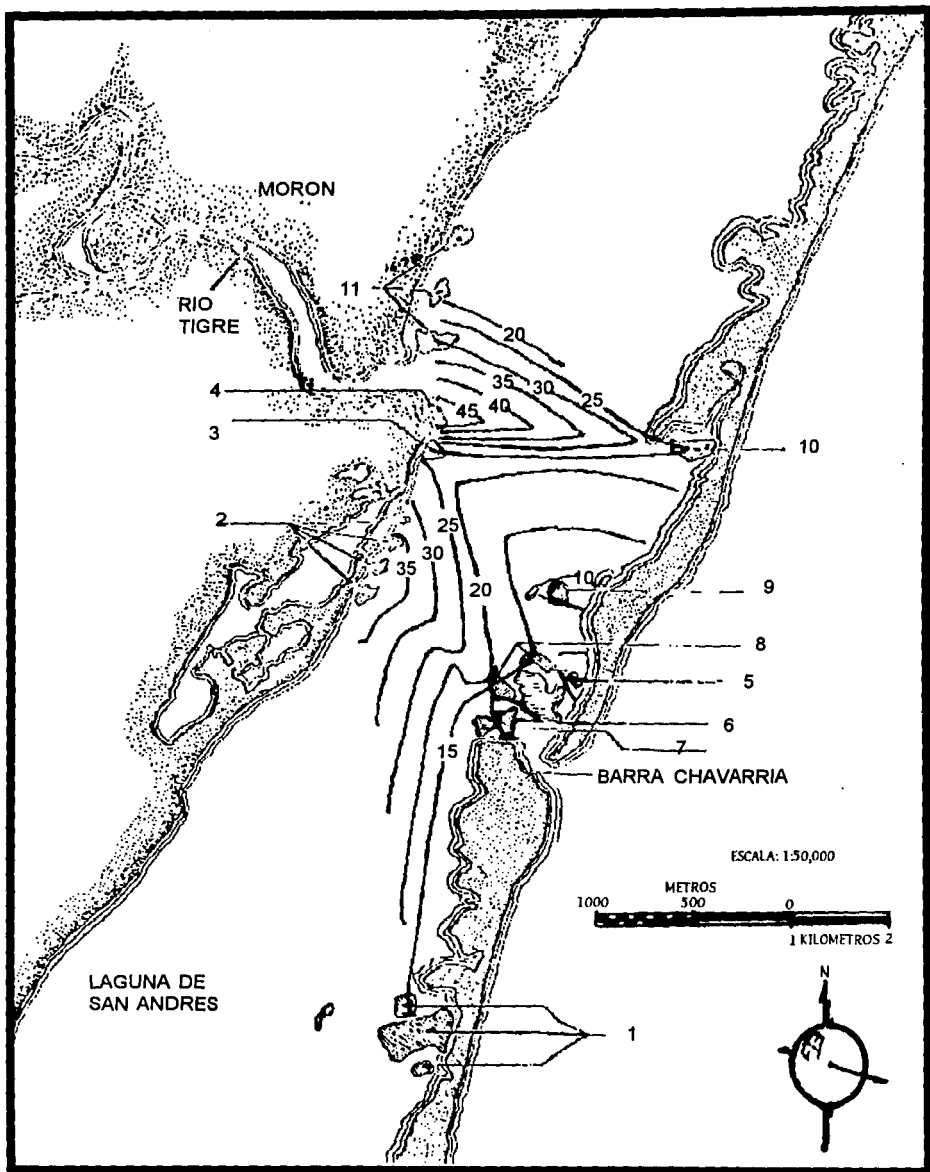


FIG. 35 DISTRIBUCION DEL INDICE DE FINEZA EN LAGUNA DE SAN ANDRES, TAMPS., MEX.

## DISCUSION

---

### PARAMETROS TEXTURALES.

Los parámetros texturales reflejan las condiciones de depósito de los sedimentos y la influencia del ambiente fluvial y/o marino en la laguna. Las características granulométricas se ven claramente relacionadas con la circulación de las corrientes lagunares, ya que en los puntos de muestreo cercanos al mar predominan los sedimentos arenosos, mientras que en el resto de las estaciones de la laguna, fuertemente influenciadas por los aportes continentales predominan los sedimentos areno-limosos y arcillo-arenosos. El flujo del río dentro de la laguna generalmente aporta sedimentos finos a lo largo de toda la cuenca, excepto cerca de la barrera.

Se conoce que los aportes de agua dulce, cargados de una gran cantidad de partículas en suspensión al entrar en contacto con las aguas salinas sufren cambios en sus propiedades químicas, de tal manera que dichas partículas se precipitan dentro de la laguna. Sin embargo, en la boca de la laguna existe una mayor influencia de las corrientes de marea, que erosionan las barras y la cantidad de partículas finas se ve reducida por el arrastre, predominando entonces, las partículas más grandes y pesadas de tipo arenoso.

La contaminación por metales pesados es evidente en las zonas costeras, como consecuencia de las actividades humanas asociadas a las descargas industriales y municipales, a los desechos de agricultura, los de dragado y de algunos procesos naturales (Mandelli, 1979). Por esta causa es de primordial importancia el estudio de los niveles de metales pesados en áreas de alto y bajo impacto industrial para detectar regiones prioritarias que presenten valores o rangos anormales de metales pesados, a fin de prevenir su incremento y controlar los niveles ya existentes en las áreas que se encuentran impactadas por este tipo de contaminantes.

Otras fuentes de procedencia de los metales pesados además de las descargas industriales, son el drenaje continental y los productos de la combustión fósil, que se incorporan a los ecosistemas acuáticos por precipitación pluvial y escorrentías.

De esta manera, algunos metales pesados llaman la atención por su potencialidad tóxica para los organismos y el hombre, entre los que pueden mencionarse el mercurio, el cadmio y el plomo. Otros se asocian con actividades petroleras, como el níquel y el vanadio, y otros más se convierten en peligro al cambiar su forma química o aumentar su concentración, como el cobre, el cobalto y el cromo. De ahí la importancia de la evaluación de algunos de estos metales en la laguna de San Andrés, donde existen muy pocos estudios de esta índole.

Los reportes de daños graves a la salud humana, como es el caso de la enfermedad de Minamata, en Japón, a finales del decenio de los 50', y del problema de la costa atlántica de Canadá a principios de los 70', han hecho que se incrementen los análisis de los niveles de metales pesados en las zonas costeras, en virtud de que esta área es la primera en resentir los efectos de las descargas continentales, además de que recibe lo proveniente del océano abierto a través de la circulación, mareas, viento, etcétera.

En nuestro país, los estudios sobre metales pesados han sido más intensos en el litoral del Golfo de México tanto en los sedimentos como en los organismos, siendo el ostión *Crassostrea virginica* el más analizado, mientras que, la evaluación de los niveles de metales pesados presentes en la columna de agua ha quedado rezagada debido a la complejidad técnica que representa (Ponce, 1988).

## **METALES PESADOS EN ORGANISMOS.**

Los moluscos han sido muy estudiados en el ámbito de la contaminación acuática, para entender la habilidad que tienen para transmitir los metales pesados a niveles tróficos mayores, así como para acumular altas concentraciones en sus órganos, sin presentar efectos deletéreos aparentes en los individuos; y en la identificación de los procesos metabólicos, que les facilitan esta resistencia a la intoxicación con metales (Cunningham, 1979).

Algunos estudios han demostrado que en regiones que presentan contaminación por metales pesados y además por desechos urbanos, una proporción importante - de entre 50 y 80% de los metales totales- es capturado en la materia orgánica y los sulfuros de los sedimentos, incrementando la fracción potencialmente disponible para el consumo biológico, debido a la rápida remobilización cuando los sedimentos se oxidan (Souza, 1986, En: Pfeiffer et al., 1988).

De acuerdo a Bowen (1966) el cadmio, el cobre y el zinc se encuentran entre los metales con muy alto potencial de contaminación, en ese orden; el hierro y manganeso entre los de alto potencial y el cobalto y el níquel entre los de potencial moderado.

Las concentraciones de metales pesados en algunas lagunas costeras del Golfo de México decrecen en el siguiente orden: cromo, plomo, cadmio, mercurio.

## **HIERRO EN ORGANISMOS**

En México no se encuentra reglamentado el nivel máximo permisible de hierro en tejidos de organismos destinados a la alimentación, no obstante, en otros países, aunque tampoco existe dicha reglamentación, se han realizado estudios que han

confirmado la nocividad del consumo de altas concentraciones de hierro en los seres humanos; de acuerdo con Berman (1980), todos los compuestos de hierro ingeridos en exceso, pueden ser fatales, afectando principalmente a los niños. De acuerdo a Bowen (1966) el hierro junto con el manganeso, titanio y vanadio se encuentra entre los metales con alto potencial de contaminación.

Dentro del orden de toxicidad de los metales pesados para los organismos marinos, el hierro ocupa el 11º lugar, entre los 15 más importantes respecto a las fases más sensibles de sus ciclos de vida (Waldichuck, 1977).

En cuanto a la variación estacional de hierro en los ostiones de la laguna de San Andrés, la mayor concentración se registró durante la temporada de nortes, la menor en la lluviosa, mientras que en la de secas se registró una concentración intermedia.

La variación estacional de hierro en organismos que estimaron Ortíz-Gallarza et al., 1994, establece que la mayor concentración promedio de hierro se presentó en la época de nortes y la menor registrada fue durante la de secas, siendo esto semejante a lo registrado en este estudio.

La concentración promedio de este elemento resulto ser menor a la reportada por Villanueva (1987), en el río Coatzacoalcos 147 ppm; 2.31 veces menor, y en la laguna del Ostión (100 y 110 ppm) en ostiones de dos especies distintas 1.57 y 1.73 veces menor respectivamente, a lo registrado en este estudio.

## **NIQUEL EN ORGANISMOS**

El níquel es el metal más móvil y el que tiene menor tendencia a bioacumularse, en este caso la bioacumulación fue nula, ya que las concentraciones de níquel en el sedimento de la laguna tuvieron un intervalo de N. D. a 10 ppm en tanto que en los organismos fue de 1.50 a 12.0 ppm, valores muy semejantes en ambas muestras.

Con relación al rango de concentración de níquel estimado, contrastado con lo reportado por otros autores, éste fue comparable al registrado para la laguna de Términos donde se detectaron los siguientes valores de níquel 7.0 ppm (Hicks, 1976); 11.5 ppm, (Ponce, 1988); mientras que en la Laguna del Ostión, en Veracruz, se registraron los más altos para el níquel 84.0 ppm, (Villanueva, 1987).

En México no se encuentra reglamentado el nivel máximo permisible de níquel en tejidos de organismos destinados a la alimentación. Este elemento ocupa el 5º lugar en la escala de los 15 metales más tóxicos (Waldichuk, 1977).

## **CADMIO EN ORGANISMOS**

Este elemento presentó su menor concentración durante la temporada de nortes,

siendo este valor más bajo que los reportados de  $DL_{50}$  (7.5 ppm), para *Crassostrea virginica* (Goldberg et al., 1978; Nelson et al., 1976). El promedio de valores (2.6 ppm) es comparable con aquellos reportados por otros autores en organismos de ambientes costeros como es el caso de Botelló y Mandelli (1978) quienes registraron 0.9 ppm, Frazier (1975) con 3.0 ppm, y Goldberg et al., (1978), 2.5 ppm.

Dicho promedio resultó ser menor al reportado por otros autores en diferentes lagunas; en los ostiones de la Laguna de Términos en Campeche, Ponce (1988) determinó 3.7 ppm, 1.42 veces menor en este estudio; Hicks (1976) 5.7 ppm, 2.19 veces menor en el presente trabajo; en la laguna Del Carmen, Tabasco, Pérez Zapata (1981); 7.09 ppm; 2.7 veces menos en el presente estudio, para la laguna de Términos, Botello et al., (1979); detectó 8.58 ppm, 3.3 veces menos en el área de este estudio; semejante a lo registrado en Tampamachoco, Ver., 2.06 ppm, y mayor a lo reportado para la laguna de Mandinga, Ver., 1.54 ppm, 0.6 veces más alto en el presente estudio; en la laguna de Atasta, Campeche, 1.08 ppm; Rosas et al., (1983), casi 0.5 veces más; en la laguna del Ostión, Ver., N.D. Villanueva, (1987).

El límite máximo permisible para ostiones, destinados al consumo humano, según la Oficina de Salud Pública de la Food and Drug Administration (1983), es de 5.0 ppm para cadmio peso seco, por lo que el valor promedio registrado en este estudio no sobrepasa el límite permisible.

## **MANGANESO EN ORGANISMOS**

Con respecto al manganeso, al igual que para el resto de los metales pesados, en México no existe aún una norma que regule las concentraciones máximas permisibles en organismos marinos para el consumo humano. Sin embargo, el manganeso ocupa el 12° lugar en la escala de los 15 metales más tóxicos, en los ciclos de vida de los organismos marinos (Waldichuk, 1977). Las sales de manganeso sólo se consideran tóxicas para la vida acuática en contenidos muy elevados (Rodier, 1981).

El manganeso encontrado en los ostiones presentó la menor concentración promedio durante el período de secas (23.5 ppm), y la mayor en el de lluvias (33.7 ppm), mientras que en nortes el promedio fue de 34.6 ppm.

El rango de manganeso encontrado (13.5-49.5 ppm), comparado con el determinado por Villanueva (1987), en la Laguna del Ostión, Ver., (93-160 ppm), resultó ser mucho menor.

En los organismos analizados por Ortiz-Gallarza et al., 1994, en el Golfo de México, frente a Tamaulipas, también se registró el mayor valor promedio en la temporada de lluvias y el menor durante la de secas (215.63-30.38 ppm); el máximo registro fue 4.3 veces menor en Altamira, Tamps. al que se obtuvo para San Andrés.

El rango de manganeso encontrado (13.5-49.5 ppm) comparado con el determinado por Villanueva (1987), en la Laguna del Ostión, Ver. (93-160 ppm) resultó ser aproximadamente 3 veces menor con respecto al valor máximo.

El promedio registrado para este metal fue de 27.08 ppm, el cual es menor al obtenido por Villanueva (1987) para los ostiones de la laguna del Ostión, y menor que lo reportado por el mismo autor para el río Coatzacoalcos 148-172 ppm; 6.3 veces menor, y en el río Tonala 160 ppm; casi 6 veces inferior, comparable con lo reportado por Botello et al., (1976) 21.3-35.3 en la laguna de Términos, Campeche; y mayor a lo reportado por Frazier (1976), 3.0 ppm, para organismos de áreas no contaminadas.

## ZINC EN ORGANISMOS.

El zinc es el metal que más rápidamente es distribuido entre los organismos bentónicos, principalmente en los ostiones, también tiene gran importancia en los sistemas bioquímicos, actuando sobre todo en el sistema enzimático (Vallee, 1963). Schelske (1964) demostró que los ostiones tienden a acumular el zinc, considerandose importante en relación al balance geoquímico en el ecosistema estuarino.

Reportes en la literatura demuestran que existe el fenómeno de sinergismo entre los metales o entre algunos de ellos con ciertos factores ambientales. Así el manganeso disminuye la toxicidad del zinc en *Laminaria digitata*, en cambio el cobre y el zinc juntos son muy tóxicos, lo cual permitirá prever sus toxicidades independientes (Eisler y Gardner, 1973).

El zinc es el elemento que se presenta en mayor concentración en los tejidos de los organismos; el valor promedio de zinc registrado fue de 3171 ppm, confirmando así lo enunciado por Schelske (1964), en cuanto a que el zinc es el elemento que más tienden a acumular los ostiones, presentando niveles altos en sus tejidos. Sin embargo Bermejo (1983) menciona que el zinc no se acumula en el cuerpo humano y Valckovic (1980), sugiere que no es considerado como un metal peligroso.

En México no se encuentra reglamentado el nivel máximo permisible de zinc en tejidos de organismos destinados a la alimentación. El zinc ocupa el 4° lugar en la escala de los 15 elementos más tóxicos para los organismos marinos respecto a las fases más sensibles de sus ciclos de vida (Waldichuk, 1977).

El rango de concentración encontrado (269-6371 ppm), resultó ser mayor al registrado por otros autores como es el caso de Avila (1988) en el Canal del Chijol, Ver., de 20-1836 ppm, casi 3.5 veces mayor y en la laguna de Barra del Tordo, Ver., con 71 ppm; 89 veces superior, así como Villanueva (1987), para el río Coatzacoalcos, Ver., 31-56 ppm, en el río Tonala, Ver., 44 ppm, más de 100 veces superior, mientras que en la Laguna del Ostión, en Veracruz, los más altos valores de zinc registrados por el mismo autor fueron 144.0 ppm; 44 veces más, en la laguna de Términos, 679.4 ppm (Ponce,

1988); y 643.1 ppm (Hicks, 1976), 9 veces más en promedio para ambos casos.

Sin embargo, otros autores como Frazier, (1975) reportan 1700 ppm en organismos en áreas no contaminadas y 4,100 para los que habitan áreas contaminadas, y Eisler (1981), reporta que algunos organismos como las ostras contienen más de 4,000 ppm de zinc en base peso seco. Se puede considerar que el promedio encontrado se ubica dentro de dicho rango debido a que el zinc es un elemento esencial para algunos organismos y a que ha sido registrado en cantidades abundantes en estudios realizados en este tipo de organismos, incluyendo *C. virginica*.

### **COBRE EN ORGANISMOS**

El cobre es un constituyente principal de muchos organismos marinos y está considerado como un factor muy importante en el ciclo de vida de los ostiones, ya que estos necesitan concentraciones relativamente altas de este metal para el desarrollo de sus larvas (Galtsoff, 1964). El cobre ocupa el 3<sup>er</sup> lugar entre los 15 metales más tóxicos.

La concentración promedio obtenida de este elemento (50.16 ppm) comparada con lo reportado por otros autores, por ejemplo, resultó ser menor que lo registrado para los ostiones de la Laguna de Términos en Campeche, donde se determinaron niveles altos de cobre 157.7 ppm, 3 veces menor (Ponce, 1988); 172 ppm, 3.4 veces menor (Hicks, 1976); Avila (1988) registró para el Canal del Chijol, Ver., 91-606 ppm, 4.5 veces menor con respecto al valor máximo registrado, y por por el mismo autor para la laguna de la Barra del Tordo, Ver., 110 ppm; 2 veces inferior; por otra parte, dicho valor promedio fue mayor a lo reportado por Villanueva (1987), para el río Coatzacoalcos, Ver., 6-17 ppm, casi 3 veces superior, en el río Tonala, Ver., 12 ppm, 4 veces mayor; mientras que para la laguna del Ostión, Ver., se reportan 38-59 ppm, por el mismo autor.

### **COBALTO EN ORGANISMOS.**

Este elemento no se detectó en los ostiones de la Laguna de San Andrés, Tamaulipas. Lo que nos hace suponer que la forma química en la que se encontraba dicho elemento en el sedimento no era biodisponible para los organismos, lo que probablemente se deba a que en el área existan procesos físicos activos en el sedimento.

### **PLOMO EN ORGANISMOS.**

Muy poco se sabe acerca de lo que ocurre con el plomo introducido a los ecosistemas acuáticos, a pesar de que la contaminación por la presencia de este metal alcanza niveles difíciles de detectar, sobre todo refiriéndose a dosis pequeñas adsorbidas por períodos prolongados. Según Waldichuk (1977) el plomo ocupa el 6<sup>o</sup> lugar en la escala de los 15 metales más tóxicos.

El rango de concentración para este metal fue de 3.72 a 10.41 ppm, el cual resultó ser menor a lo reportado por Avila (1988) para el Canal del Chijol, Ver., que registró 8-16 ppm; por otra parte el valor promedio (5.74 ppm), resultó ser mayor al registrado por el mismo autor para la Laguna de Barra del Tordo, Tamaulipas; con 4 ppm, así como lo reportado por Rosas et al., (1983), para las lagunas de Tamapamamachoco 1.86 ppm, y Mandinga 3.03 ppm, Villanueva (1987) no detecto plomo en los organismos de la laguna del Ostión, Veracruz. En los ostiones de la Laguna de Términos en Campeche, Hicks, (1976) determino 1.8 ppm; así mismo el valor promedio registrado en el presente estudio es igual al reportado por Ponce (1988), para la laguna de términos, Campeche, 5.8 ppm.

En los bivalvos analizados de los sistemas lagunares de Tabasco, se observa que en la zona de Mecoacán, el plomo registra un promedio de 0.24 ppm, la Laguna del Carmen de 0.26 ppm y la Laguna Machona de 0.23 ppm, en estas regiones costeras existe un valor máximo a finales de la temporada de lluvias, un mínimo al término de la estación de "nortes", y para la Laguna de Machona se observa un incremento paulatino durante la temporada de secas. (De la Lanza, 1986).

El límite máximo permisible para ostiones, recomendados para el consumo humano según la Oficina de Salud Pública de la Food and Drug Administration (1983) es de 2.5 ppm para plomo peso seco. Clark (1986), define el límite de tolerancia del plomo en alimentos para el consumo de 10 ppm. Por lo que el rango registrado en este estudio podría ser considerado no sobrepasa el límite establecido.

## **METALES PESADOS EN SEDIMENTO.**

Existe un peligro potencial en las zonas costeras dada la dinámica de las tasas de renovación o ciclaje de los nutrientes, permitiendo que los metales pesados queden atrapados en los sedimentos actuando como reservorios naturales de los contaminantes (Group of Experts on Methods, Standards and Intercalibration; GEMSI, 1983) haciéndose disponibles para los organismos, que los acumulan en sus tejidos, sufriendo de esta manera sus efectos tóxicos.

A pesar de la importancia que tienen los sedimentos como reservorio de metales pesados en áreas costeras, no existen aun límites permisibles en la legislación ambiental mexicana que permitan en este caso proporcionar grados de contaminación.

## **HIERRO EN SEDIMENTO.**

El hierro en los sedimentos es el metal predominante, hecho razonable, ya que es un elemento esencial para la vida.

El valor promedio de hierro en los sedimentos superficiales durante el período de estudio fue de 22.88 ppm. Dicha concentración promedio fue inferior a las registradas



por Avila (1988), en el Canal del Chijol, Ver., que encontró 6908 ppm, dicho valor resulta ser 2.34 veces superior al máximo registrado en este estudio.

El rango de hierro encontrado por Ortiz-Gallarza et al., (1994) en sedimentos de la región de Tamaulipas, fue de 75 a 5880 ppm, con valores promedio por época de 3,241.63; 4,953.13 y 2,050,90 ppm. Dichos valores resultaron ser mayores en 216.48 veces más que el promedio registrado en este estudio. En cambio Villanueva (1987) detectó concentraciones promedio en sedimentos del Río Coatzacoalcos 3,850 ppm; de la Laguna del Ostión 4,000 ppm; y del Río Tonalá 1,200 ppm; correspondientes a regiones impactadas, estos valores resultan ser mayores en 174.83 veces los dos primeros, y 52.45 veces en el Río Tonalá, con respecto al promedio registrado para este estudio.

### **NIQUEL EN SEDIMENTO.**

El valor promedio de níquel en el sedimento durante el período estudiado fue de 6.1 ppm, este valor promedio resultó ser inferior a lo registrado por otros autores, como por ejemplo Villanueva (1987), en el Río Tonalá; 98.4 ppm y la Laguna del Ostión 68.8 ppm, siendo 16.13 y 11.28 veces superior al registrado en este estudio. Así como en la Laguna de Bojórquez en Quintana Roo, 87.3 ppm, (De León, 1987), superior en 14.31 veces, también en la Laguna de Términos en Campeche, se presentan valores altos 50.9 ppm, (Ponce, 1988), 8.34 veces más de lo registrado en este estudio, evidenciando el efecto de las actividades petroleras de la Sonda de Campeche. Cabe mencionar que una situación similar se observa en la Laguna Chautengo, Guerrero, donde se tiene 43.0 ppm, (Paez-Osuna et al., 1985), siendo 7 veces superior al valor promedio de este estudio.

Con respecto a lo reportado por Avila (1988) en el Canal del Chijol, Ver., el rango de valores registrado de 8 a 17 ppm, coincide con el presente estudio.

### **CADMIO EN SEDIMENTO.**

El promedio de cadmio en el sedimento se estimó en 1.12 ppm; dichos valores se pueden considerar iguales a lo reportado por otros autores, como por ejemplo, en la Laguna del Carmen, Tabasco, se presentan concentraciones relativamente bajas de cadmio en sedimento 0.3 ppm; y en la Laguna Atasta en Campeche se tiene: 0.02 ppm, (Rosas et al., 1983). En la Laguna de Términos en Campeche, se presentan valores de 1.4 ppm, (Ponce, 1988); en la Laguna Chautengo, Guerrero, se tiene 2.1 ppm (Paez-Osuna et al., 1985).

### **MANGANESO EN SEDIMENTO**

Con relación al promedio de la concentración de manganeso en los sedimentos, este se estimó en 174.76 ppm; en general dichos valores fueron inferiores a los reportados

por otros autores como es el caso de Rosáles *et al.*, (1986) para la Laguna de Alvarado 107.5-1455 ppm, y para la Laguna Camaronera 524.7-1544 ppm, lo mismo ocurre para el Río Papaloapan 366.7-1182 ppm, superando lo encontrado en este estudio en 3.66, 3.89, 2.98 veces con respecto al valor máximo.

La variación de manganeso encontrada por Ortiz-Gallarza *et al.*, (1994) en sedimentos de la región de Tamaulipas, durante el período estacional fue de 22.50 a 2,415 ppm; con promedios por época de 157.43; 359.22 y 161.28 ppm, siendo este primer valor promedio igual al registrado por Villanueva (1987) en el río Tonalá, 157 ppm, este valor es 1.11 veces menor al registrado en este estudio.

### **ZINC EN SEDIMENTO.**

Con relación al promedio de zinc en los sedimentos, éste fue de 10.12 ppm, encontrándose que dichos valores son menores a los registrados en otros lugares, como por ejemplo en el río Tonalá de 66.5 ppm, y en la laguna del Ostión 112.4 ppm (Villanueva, 1987), siendo 6.57 y 11.11 veces mayor a lo registrado en este estudio, así como en la Laguna de Bojórquez en Quintana Roo, 57.2 ppm; (De León, 1987) al igual que en la Laguna de Términos en Campeche, 57.2 ppm, (Ponce, 1988), donde se presentan actividades petroleras, siendo 5.65 veces más elevado que el promedio registrado para el presente estudio. En la Laguna Chautengo, Guerrero, se tienen 75.0 ppm; (Paez-Osuna *et al.*, 1985), siendo 7.41 veces superior a lo registrado en el presente estudio.

### **COBRE EN SEDIMENTO.**

De acuerdo a Jernelov (1974) es posible encontrar zonas costeras a nivel mundial con concentraciones extremadamente altas de cobre en agua, sedimentos y organismos, sin que se presenten fenómenos de transportación de este metal en otras zonas estuarinas.

Con respecto a la variación de cobre en los sedimentos, se aprecia que en general el rango de concentración resultó ser menor a lo registrado para otras regiones como es el caso del Río Tonalá donde se registraron 22.1 ppm, que es 4.69 veces mayor y en la laguna del Ostión 50.3 ppm; (Villanueva, 1987), 10.68 veces menor así como en la Laguna de Bojorquez en Quintana Roo, 36.3 ppm, (De León, 1987). También en la Laguna de Términos en Campeche, se presentan valores altos 36.3 ppm, (Ponce, 1988), 7.71 veces menor. En la Laguna Chautengo, Guerrero, se tiene 28.5 ppm, (Páez-Osuna *et al.*, 1985) 6.05 veces superior, con respecto al promedio registrado en este estudio.

### **COBALTO EN SEDIMENTO.**

No existen en México muchos reportes de análisis de este elemento. En el presente

estudio el cobalto sólo se detectó en el sedimento, encontrándose que en general, el rango de valores registrados es inferior a los reportados por Villanueva (1987), para la Laguna del Ostión, 36.2 ppm, 7.54 veces menor, para el Río Tonalá 25.0 ppm, 5.21 veces menos y para el Río Coatzacoalcos 21.6 ppm, 4.5 veces superior con respecto al promedio encontrado en este estudio.

## **PLOMO EN SEDIMENTO.**

Con respecto a la concentración promedio del plomo en sedimento se tiene 11.72 ppm resultando ser mayor a lo registrado en algunas lagunas como por ejemplo; en la Laguna del Carmen, Tabasco, donde se presentan concentraciones relativamente bajas de plomo en sedimento 6.5 ppm; siendo 1.8 veces mayor lo registrado en este estudio y en la Laguna Atasta en Campeche se tiene: 0.3 ppm; (Rosas et al., 1983) 39 veces más. En la Laguna Chautengo, Guerrero, se tiene 9.8 ppm; (Paez-Osuna et al., 1985) 1.2 veces más. En la Laguna de Términos en Campeche, se presentan valores superiores al valor promedio registrado en este estudio, se reportan 33.9 ppm; (Ponce, 1988) 3.03 veces más de lo registrado en este estudio.

Generalmente el contenido de plomo en el sedimento fue mayor a la del ostión, debido a que puede estar asociado a la materia orgánica y cuando se precipita el metal en forma de carbonato y sulfuro, no quedando disponible de esta forma para los organismos, ya que el plomo en el sedimento forma complejos de poca solubilidad (Laxen y Harrison, 1977).

## **METALES EN AGUA.**

La concentración de los metales pesados examinados en la columna de agua en la laguna de San Andrés, se encontraron siempre en concentraciones del orden de microgramos por litro y por lo tanto se mantuvieron siempre por debajo de los obtenidos para sedimento y organismos.

La variación estacional que se presentó para los elementos analizados en el agua de la laguna de estudio durante la primera temporada de muestreo (lluvias de 1984), se observó la mayor concentración con excepción del hierro, el cual presenta la menor concentración justamente durante ésta temporada.

De lo anterior se deriva que puede existir un incremento de estos elementos en el medio, debido a que el caudal de los ríos que desembocan en la laguna se intensifica y en consecuencia, aporta material con elevadas concentraciones de estos elementos, que son arrastrados a su paso.

Las variaciones más notables se obtuvieron en la época del año en que el aporte de las aguas es mayor. Los ríos son la fuente principal de sedimentos, nutrientes, elementos traza y otros provenientes de reservorios continentales movlizados por

acción del intemperismo, procesos biológicos y actividades antrópogenicas.

## **HIERRO EN LA COLUMNA DE AGUA.**

El hierro elemental usualmente no es un contaminante significativo en el mar, sin embargo, a valores de pH comunes en agua marina, forma principalmente óxidos casi insolubles u óxidos de hidruro (Clark, 1986; Ahrlund, 1985).

Por otra parte, el hierro es un factor importante en el transporte de mercurio y de otros metales pesados, durante la formación de minerales ferromangosos.

Las concentraciones normales de hierro reportadas para ríos pueden alcanzar hasta 670 ppb (Bryan, 1976; Waldichuck, 1974).

El hierro en la columna de agua presentó las mayores concentraciones entre las zonas de influencia del río Tigre y la Barra de Chavarría.

En los criterios ecológicos de la calidad del agua (CE-CCA 001/89) (Diario Oficial, 13-XII-89), se establece un nivel máximo permisible de hierro para la protección de la vida acuática en aguas costeras de 0.05 ppm. Las concentraciones registradas en promedio fueron entre 4.0 y 50 ppb (0.004-0.05 ppm), por lo cual se consideran dentro de esta normatividad.

Con relación al rango de las concentraciones de hierro estimadas (4.0-50 ppb), este fue menor a los registrados por otros autores en diversas localidades, como es el caso de Páez et al., (1987); para el sistema fluvial de la Laguna de Términos 48.8-56.6 ppb, y mucho menores a las reportadas por Avila (1988) en el Canal Chijol, Ver., 661-6512 ppb, y en Barra del Tordo, Tamaulipas 97 ppb.

## **NIQUEL EN LA COLUMNA DE AGUA.**

En relación con los valores de níquel en la laguna, estos resultaron ser bajos con respecto a los reportados por otros autores, como por ejemplo Avila (1988), quien registró valores de entre 10 a 62 ppb; 17.7 veces más alto con respecto al valor máximo, y mayores a los encontrados por el mismo autor en la laguna de Barra del Tordo, Tamaulipas N.D.; 3.5 veces más bajo con respecto al valor máximo en este estudio.

En México la Legislación Ambiental en vigor establece como límite máximo permisible 8.1 ppb para aguas costeras. Organismos de otros países como la Environmental Protection Agency (EPA) establece que en ambientes marinos, concentraciones mayores de 0.1 ppm (100 ppb) podrían perjudicar a los organismos y que concentraciones de 0.002 ppm (2.0 ppb) ocasionarían riesgos mínimos en dichos organismos.

Por lo anterior, la concentración promedio registrada en este estudio (1.07 ppb), se encuentra por debajo del límite fijado por la legislación y por lo tanto dentro de las condiciones que no representan riesgos para los organismos acuáticos.

En los criterios ecológicos de la calidad del agua CE-CCA-001/89 (Diario Oficial, 13-XII-89) se establece un nivel máximo permisible de níquel para la protección de la vida acuática, en aguas costeras de 0.008 ppm. Y en el reglamento para la prevención y control de la contaminación del agua, en sus valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en estuarios, establece un valor de 0.1 ppm. Las concentraciones obtenidas se encuentran por debajo de dichos valores.

#### **CADMIO EN LA COLUMNA DE AGUA.**

Cuando las aguas costeras y estuarinas son examinadas, la concentración de cadmio se incrementa significativamente, debido a la actividad de cualquier industria o a la proveniente de los ríos mineralizados (Webb; 1979).

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en su reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas en su normatividad ecológica (1986), establece un valor máximo permisible de 10 ppb, los valores registrados en este estudio se encontraron por debajo de dicho valor, desde N.D. a 1.15 ppb; así como lo reportado por Webb (1979), para zonas de explotación ostrícola.

Comparando dichos valores con lo reportado por otros autores, se tiene que los valores registrados para este estudio son bajos con respecto a diferentes lagunas costeras; como es el caso de la laguna de Mandinga, Veracruz 2.0 ppb; Del Carmen, Tabasco, 13.0 ppb; y Atasta, Campeche 3.0 ppb; De la Lanza; (1986) pero mayores a lo reportado por Páez, et al., (1987) en la Laguna de Términos 0.03 ppb; en la laguna de Mezcaltitlán, Nayarit 0.01 -0.60 ppb; Tampamachoco, Veracruz 1.0 ppb; Rosas et al. (1983).

#### **MANGANESO EN LA COLUMNA DE AGUA.**

El manganeso se puede encontrar en agua con valencias II, III y IV en estado soluble; así como en suspensión y en forma de complejo. Su solubilidad depende de los valores de pH, oxígeno disuelto y agentes quelantes. Los límites establecidos en Estados Unidos, Canadá y en algunos países europeos para aguas destinadas a diferentes usos son de 0.05 a 0.1 ppm.

Al igual que el hierro, el manganeso a valores de pH comunes en agua de mar, forma óxidos prácticamente insolubles u óxidos de hidruro, presentando efectos sobre los organismos (Ahrland, 1985; Clarck, 1986). Su efecto como contaminante antropógeno se considera mínimo, pero es un factor de importancia en el transporte de mercurio y de otros metales pesados durante la formación de minerales

ferromanganosos (Bryan, 1976; Waldichuk, 1994 En: Alvarez y González, 1986).

Las sales de manganeso sólo se consideran tóxicas para la vida acuática en concentraciones muy elevadas (Rodier, 1981). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) dentro de sus criterios de calidad del agua para la vida acuática, establece que los niveles menores de 0.02 ppm presentan riesgos mínimos y de 0.1 ppm en adelante ponen en peligro la vida marina (Van der Leeden et al., 1990).

El rango encontrado en este estudio de acuerdo a lo establecido por la EPA, y dentro de los valores que no presentan peligro para la vida acuática. Este rango de concentración es mayor a lo reportado por Páez, et al., (1987), para la laguna de Términos 0.2-0.6 ppb.

El máximo valor permisible establecido en los criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) (Diario Oficial 13/XII/89) para este elemento, no está definido, por lo cual las concentraciones en promedio, no pueden ser comparadas.

En el orden de toxicidad de los metales pesados para las fases más sensibles de los ciclos de la vida de los organismos marinos, el manganeso ocupa el 12º lugar, entre los 15 de mayor importancia (Waldichuk, 1977).

#### **ZINC EN LA COLUMNA DE AGUA.**

En los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89) (Diario Oficial, 13-XII-89), se establece un nivel máximo permisible de zinc para la protección de la vida acuática en aguas costeras de 8.6 ppb. Y la SEDUE (1986) en su Reglamento para la Protección y Control de la Contaminación de la Aguas, establece los valores máximos permisibles en estuarios de 10 ppm. Las concentraciones registradas varían de 0.38 a 12.9 ppb, superando en algunos casos, la concentración establecida por los criterios ecológicos, pero no así la normatividad establecida por SEDUE. Por otro lado comparando dichos valores con lo registrado por otros autores como es el caso de Avila (1988), en el canal del Chijol, Ver., 20-1836 ppb; y en la laguna de Barra del Tordo, Tamaulipas 130 ppb; nuestros resultados se encuentran muy por debajo de estos, (son 10 veces menores).

#### **COBRE EN LA COLUMNA DE AGUA.**

El cobre es reportado en la bibliografía con concentraciones en aguas continentales que están por el orden de 5 a 7 ppb (Bryan, 1976 y Waldichuck, 1977). La SARH (1975) considera una concentración máxima permisible de 5 ppb.

En los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89) (Diario Oficial, 13-XII-89), se establece un nivel máximo permisible de cobre para la protección de la vida

acuática en aguas costeras de 3 ppb. Y la SEDUE (1986) en su Reglamento para la Protección y Control de la Contaminación de la Aguas, establece los valores máximos permisibles en estuarios de 5 ppb. Por lo que las concentraciones registradas en el presente estudio no sobrepasan dicho límite permisible.

Las concentraciones obtenidas son mucho menores que las registradas por Avila (1988), para el Canal del Chijol 16-58 ppb; y en la laguna de Barra del Tordo 40 ppb, 29 y 20 veces más respectivamente con respecto al valor máximo registrado.

#### **COBALTO EN LA COLUMNA DE AGUA.**

Este elemento no fue detectado en la columna de agua, en la zona de estudio.

#### **PLOMO EN LA COLUMNA DE AGUA.**

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos desde 1975, ha señalado un valor máximo permisible de plomo para aguas costeras de 1 ppb.

En los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89) (Diario Oficial, 13-XII-89), se establece un nivel máximo permisible de plomo para la protección de la vida acuática en aguas costeras de 5.6 ppb. Y la SEDUE (1986) en su Reglamento para la Protección y Control de la Contaminación de la Aguas, establece los valores máximos permisibles en estuarios de 100 ppb. En base a lo anterior, los valores registrados durante el período de estudio se encuentran dentro del límite permisible establecido por ambas normatividades.

Con relación al rango de concentración de plomo estimado, contrastado con lo reportado por otros autores, éste fue mucho menor, como en el caso de De la Lanza (1986), que reporta un rango de 8.0 a 92.0 ppb, en la Laguna de Mezcaltitlán, Nayarit; 46 veces más alto, Rosas et al., (1983) quien realizó estudios en varias lagunas con los siguientes valores; Mandinga, Ver., 125.0 ppb; 62.5 veces mayor; Del Carmen, Tabasco, 40.0 ppb; 20 veces más alto; Tampamachoco, Ver., 46.0 ppb; 23 veces más elevado; y De Atasta, Campeche 38.0 ppb; 19 veces superior, y Avila (1988) en el Canal del Chijol, Ver., 47-789 ppb; 394 veces superior con respecto al valor máximo; y en la laguna de Barra del Tordo, Tamaulipas 49 ppb, 24.5 veces superior con respecto al valor máximo registrado en el presente estudio.

## FACTORES DE ACUMULACION DE METALES PESADOS.

El márgen entre la concentración de metales requerida para el metabolismo de los organismos marinos y la concentración tóxica, frecuentemente es muy variable. La acumulación de los metales pesados en los sedimentos se puede ver reflejada en el contenido del metal en los organismos principalmente en los de hábitos bentónicos y filtradores, que al consumir detritus ingieren material sedimentario fino, haciendo que aumente la concentración de los metales en sus tejidos, concentrándolos y aumentándolos como un reflejo de la remoción de los metales a través de procesos biogeoquímicos.

En este estudio se calcularon los siguientes factores de acumulación que consideran el número de veces que se exceden las concentraciones de metales en los organismos, con relación a los sedimentos, en los organismos con respecto a la columna de agua y finalmente en los sedimentos con respecto a la columna de agua.

FACTORES DE ACUMULACION: ORGANISMOS - SEDIMENTO				
	I	II	III	IV
<b>Fe*</b>	32.72	12.51	26.48	19.14
<b>Ni*</b>	1.63	1.90	2.65	1.70
<b>Cd</b>	2.24	2.08	2.49	2.18
<b>Mn*</b>	6.99	6.07	7.09	8.23
<b>Zn</b>	263.39	362.01	279.35	317.71
<b>Cu</b>	18.61	13.42	6.40	7.06
<b>Pb*</b>	1.91	1.60	2.60	2.68

En los metales marcados con asterisco la relación de los factores de acumulación se obtuvo de la concentración del sedimento con respecto a los organismos.

La mayor acumulación de metales pesados que se presentó en los sedimentos con respecto a los organismos, correspondió a hierro, seguido por manganeso, plomo y níquel. Elevadas concentraciones de aluminio, hierro y manganeso en los sedimentos denotan el aporte de material terrígeno. Aunque no es posible diferenciar certeramente las fuentes, algunas pueden ser: descargas de petróleo, uso de pinturas anticorrosivas,



descargas de refinerías, pesticidas y fertilizantes de uso agrícola, erosión, entre otras (Bryan, 1976).

En la relación de la acumulación de los metales en los organismos con respecto a los sedimentos, el zinc es el elemento que mayormente se concentró, seguido del cobre y el cadmio. Lo que denota que probablemente existió una mayor biodisponibilidad de las formas químicas de dichos metales para los organismos presentes en el área de estudio.

Con respecto a este último hecho se confirma que; los metales pesados como cobre, cadmio y zinc, entre otros, son acumulados en los organismos en concentraciones mayores a las del medio que les rodea (Kopfler y Mayer, 1967; McGreer et al, 1980; Vanhassel et al., 1980; Goldberg 1983; y Mance 1987). El grado de acumulación de los metales a partir de los sedimentos depende de factores como la forma química y la concentración del metal (Pérez-Zapata, 1983). Sin embargo, la concentración total de los metales en la columna de agua y en el sedimento no necesariamente refleja las concentraciones que son aprovechadas por la biota (Gutierrez-Galindo, 1982).

Según Rosas et al., (1983) el ostión *C. virginica* acumula metales pesados en el siguiente orden decreciente: Cd > Zn > Fe > Cr > Ag > Cu > Hg = Ni > Pb > V > Mo.

Los niveles de toxicidad de los metales pesados son variables. Villanueva et al., (1988) reportaron el siguiente orden de toxicidad en bivalvos del Río Coatzacoalcos: Ni > Zn > Fe > Mn > Cu y de la Laguna de Ostión: Mn > Fe > Zn > Cu.

FACTORES DE ACUMULACION: ORGANISMOS - AGUA				
	I	II	III	IV
Fe	69.55x10 <sup>2</sup>	28.00x10 <sup>2</sup>	183.68x10 <sup>2</sup>	21.76x10 <sup>2</sup>
Ni	20.45x10 <sup>2</sup>	33.33x10 <sup>2</sup>	66.66x10 <sup>2</sup>	101.78x10 <sup>2</sup>
Cd	63.28x10 <sup>2</sup>	107.14x10 <sup>2</sup>	133.33x10 <sup>2</sup>	93.75x10 <sup>2</sup>
Mn	224.40x10 <sup>2</sup>	108.03x10 <sup>2</sup>	117.50x10 <sup>2</sup>	200.00x10 <sup>2</sup>
Zn	3940.76x10 <sup>2</sup>	6711.03x10 <sup>2</sup>	8064.12x10 <sup>2</sup>	7572.08x10 <sup>2</sup>
Cu	94.63x10 <sup>2</sup>	377.40x10 <sup>2</sup>	462.12x10 <sup>2</sup>	192.10x10 <sup>2</sup>
Pb	20.71x10 <sup>2</sup>	75.70x10 <sup>2</sup>	54.87x10 <sup>2</sup>	47.44x10 <sup>2</sup>

El orden de acumulación de los metales pesados en los organismos con respecto al agua fueron de la siguiente manera: Zn > Mn > Cu > Cd > Fe > Ni > Pb.

Gran parte de la acumulación de los metales pesados en los organismos acuáticos tiene lugar a través de los alimentos y materiales en suspensión donde se encuentran preconcentrados (Ayling, 1974). De esta manera, el concepto de factores de concentración que describe la habilidad de los organismos para acumular los metales pesados que están disueltos en el agua debe utilizarse con cuidado.

<b>FACTORES DE ACUMULACION: SEDIMENTO - AGUA</b>				
	I	II	III	IV
<b>Fe</b>	29.0229x10 <sup>4</sup>	3.3165x10 <sup>4</sup>	4.6323x10 <sup>4</sup>	4.6822x10 <sup>4</sup>
<b>Ni</b>	0.3624x10 <sup>4</sup>	0.4686x10 <sup>4</sup>	1.1911x10 <sup>4</sup>	2.3046x10 <sup>4</sup>
<b>Cd</b>	0.2169x10 <sup>4</sup>	0.3403x10 <sup>4</sup>	0.5372x10 <sup>4</sup>	0.6590x10 <sup>4</sup>
<b>Mn</b>	14.2662x10 <sup>4</sup>	36.782x10 <sup>4</sup>	55.555x10 <sup>4</sup>	20.5714x10 <sup>4</sup>
<b>Zn</b>	0.1427x10 <sup>4</sup>	0.1677x10 <sup>4</sup>	0.6455x10 <sup>4</sup>	0.2269x10 <sup>4</sup>
<b>Cu</b>	0.0615x10 <sup>4</sup>	1.5321x10 <sup>4</sup>	6.419x10 <sup>4</sup>	0.2709x10 <sup>4</sup>
<b>Pb</b>	0.4467x10 <sup>4</sup>	1.1608x10 <sup>4</sup>	1.4261x10 <sup>4</sup>	1.2969x10 <sup>4</sup>

El orden de acumulación de los metales pesados en el sedimento con respecto al agua se encontró de la siguiente manera: Mn > Fe > Pb > Ni > Cd > Zn.

Las concentraciones de hierro y manganeso se encontraron elevadas, pero dentro de los rangos citados por otros autores, esto puede ser considerado como algo normal, ya que estos elementos se encuentran en grandes concentraciones característicamente en los sedimentos de agua dulce, costeros y de mar profundo (Riley y Chester, 1971).

Los metales pesados presentan concentraciones diferenciales entre la columna de agua, los sedimentos y los organismos. Diversos autores han registrado concentraciones más elevadas en los sedimentos, seguidas por las detectadas en los tejidos de los organismos y por último, proporcionalmente mucho menores, en la columna de agua. Por ejemplo Ayling (1974) calculó que las concentraciones de cadmio y plomo en sedimentos, fueron superiores en  $0.1 \times 10^2$  a  $0.4 \times 10^2$  a aquellas determinadas en los organismos.

Lo que es confirmado en el presente estudio, de manera general, los factores de acumulación fueron: 1) sedimentos 2) organismos 3) columna de agua, para casi todos los metales pesados que se analizaron, con algunas excepciones como son: cadmio, zinc y cobre los cuales fueron mayores en los organismos, que en los sedimentos.

Los metales pesados generalmente se enlazan con componentes como los

aluminosilicatos, que también pueden originarse a partir de la actividad geoquímica. Una vez que tales constituyentes ingresan a la columna de agua estuarina, la diferencia de las concentraciones iónicas entre agua dulce y salobre, produce un cierto número de procesos físicos, tales como floculación o coprecipitación, resultando en una remoción activa de la mayoría de los metales pesados presentes en la columna de agua, hacia los sedimentos. De ahí que los sedimentos sean el reservorio principal de los metales pesados en ambientes estuarinos y marinos. La columna sedimentaria y no así la de agua, refleja mucho mejor la contaminación que se presenta respecto a metales pesados en un área costera. Este registro permite conocer el cambio de los metales pesados en diferentes tiempos (tiempo histórico y tiempo reciente). Las concentraciones de metales en sedimentos, por lo tanto, pueden ser empleadas para el establecimiento de gradientes espaciales de contaminación (Ryan y Windom, 1988).

## **ANÁLISIS DE "CLUSTER"**

Con respecto a los agrupamientos obtenidos mediante la aplicación del análisis de cúmulos o "Cluster" (En: I.M.P., 1987), fue posible apreciar los siguientes comportamientos.

### **I. EPOCA DE LLUVIAS 1984.**

Durante este período se puso de manifiesto la similitud entre el comportamiento que registraron los parámetros hidrológicos básicos, los cuales constituyeron un agrupamiento formado por los valores de transparencia, profundidad, oxígeno disuelto y de salinidad; denotando que la variación de sus valores de importancia fue similar entre las estaciones de muestreo durante la temporada de lluvias 1984. Además dichos parámetros mostraron un comportamiento típico al que se presenta en otras lagunas costeras del litoral del Golfo de México.

Otra agrupación de importancia se registró entre la temperatura, los nitratos y algunos metales de los sedimentos (Cd, Pb, y Co) cuya variación fue relativamente similar. Este comportamiento puede mostrar una relación entre la velocidad de sedimentación que presentan el plomo, cadmio y cobalto o ser un indicio de la presencia de fuentes de procedencia común.

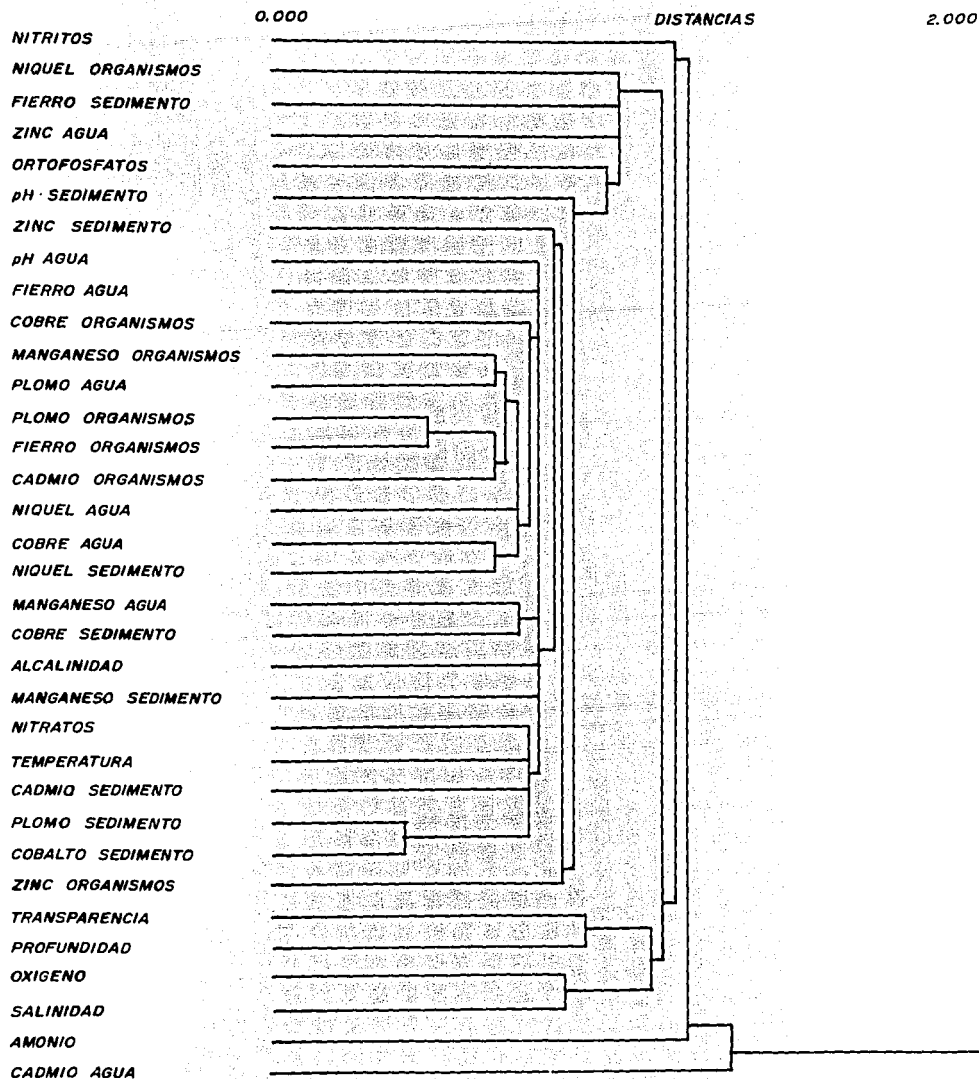
En referencia a la relación temperatura y nitratos, es sobradamente conocido que la producción primaria está relacionada directamente con la disponibilidad de nutrientes y la estacionalidad.

Con relación al cadmio en la columna de agua este denotó una variación muy amplia al aparecer independiente del resto de parámetros analizados.

Con relación a los nitritos y el amonio éstos se agruparon entre sí denotando una gran variación.

## Lluvias (época I)

Fig. 38 Agrupamiento de metales en C. virginica y sedimento en la época de lluvias 1984.



Otra agrupación estuvo constituida por el níquel en organismos, hierro en sedimentos y zinc en agua, constituyéndose un subgrupo que incluyó a los ortofosfatos. Estos metales, así como los ortofosfatos, experimentaron variaciones mayores que los otros metales y nutrientes.

El pH de los sedimentos se comportó de manera independiente, influyendo probablemente en las concentraciones de zinc registradas tanto en el sedimento, como en los organismos, cuyas distancias euclidianas fueron iguales.

Tanto la alcalinidad como el manganeso en los sedimentos, se comportaron independientemente del resto de los parámetros.

Con respecto a los metales, la variación subsecuente estuvo dada por el hierro en el agua. Presentaron la misma variación el cobre en los sedimentos y el manganeso en el agua. La mayor variabilidad se presentó en el plomo y hierro en los organismos seguida de cadmio y manganeso en organismos, así como plomo y cobre en el agua y níquel en los sedimentos. La variación del níquel en el agua fue ligeramente mayor.

## **II. EPOCA DE NORTES 1984.**

El parámetro que mostró la mayor variación durante ésta época fue la profundidad, seguida del oxígeno disuelto en el agua. La transparencia se comportó independientemente, denotando la agrupación de cinco parámetros; cadmio en los sedimentos y temperatura, manganeso, cobalto y níquel en los sedimentos.

El hierro se mostró también independiente pero señalando la asociación de los siguientes parámetros: cobre, manganeso, zinc, cadmio y plomo en agua.

Otra agrupación notable se presentó entre los metales en los organismos, las menores variaciones se presentaron entre zinc y hierro en organismos, seguidas de plomo y manganeso en organismos, cobre en organismos, cadmio en organismos y finalmente, níquel en organismos.

Otra agrupación estuvo dada por la alcalinidad, el hierro, zinc y cobre en los sedimentos, así como el plomo en el agua.

Los nitritos y nitratos presentaron un comportamiento similar, indicando una escasa variación. También la variación observada entre el pH del agua y de los sedimentos fue igual, y puede ser considerada como relativamente intermedia.

El níquel en el agua y el amonio se mostraron relativamente independientes en su comportamiento.

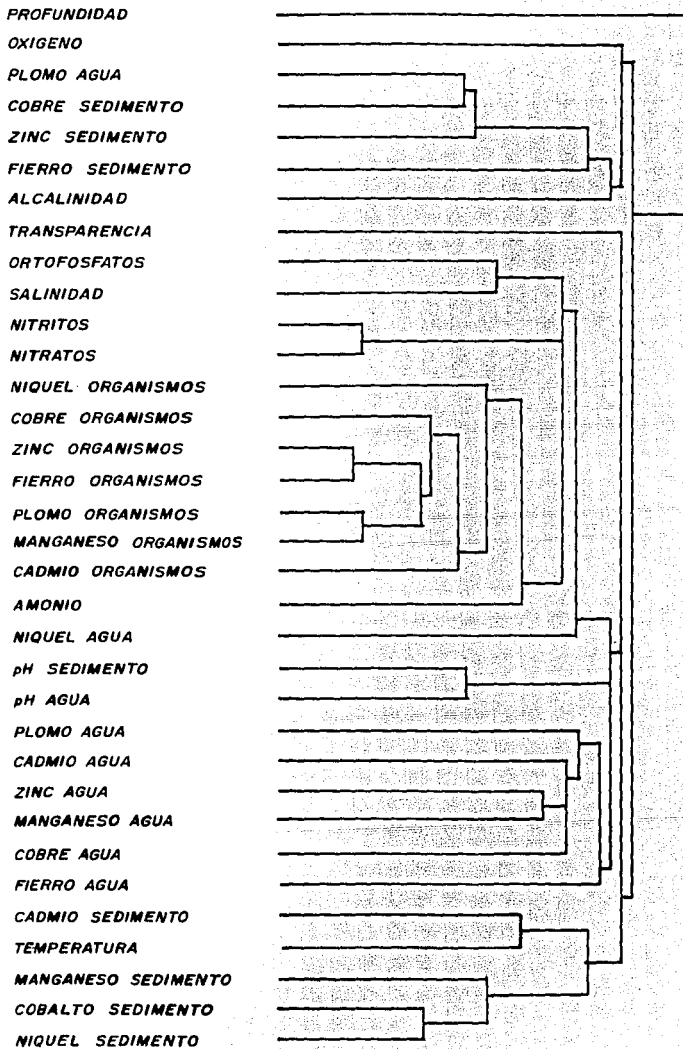
Finalmente los ortofosfatos y la salinidad se relacionaron, constituyendo un subgrupo

**Nortes (época II)**

0.000

DISTANCIAS

2.000



**Fig. 3.7 Agrupamiento de metales en *C. virginica* y sedimentos en la época de nortes 1984.**

con los nitratos, nitritos y los metales en organismos.

### **III. EPOCA DE SECAS 1985.**

Durante esta época, la mayor variabilidad se observó en el pH del agua, seguida del cobre en el agua y de la alcalinidad, las cuales configuran un subgrupo con el pH del sedimento y la temperatura.

Por otra parte el amonio se presenta independiente y muestra mayor variación que la salinidad.

Las principales agrupaciones están constituidas por los metales, los cuales se reúnen por procedencia en: sedimentos y organismos. En el caso de los metales en agua, estos se constituyeron en subgrupos, con variaciones parecidas.

Se formó una agrupación entre cadmio en agua, ortofosfatos y nitratos y otras dos, entre transparencia-profundidad y oxígeno-nitritos.

### **IV. EPOCA DE LLUVIAS 1985.**

Durante ésta época se presentó un comportamiento similar al de secas de 1985, señalándose semejanzas entre los metales determinados en sedimentos entre sí y en organismos entre sí.

Se formaron agrupaciones entre hierro del agua y de los sedimentos, alcalinidad, oxígeno y pH del agua. Así como entre el níquel en agua, nitratos y salinidad.

El amonio, nitratos y nitritos se comportaron de manera relativamente independiente.

Otro subgrupo lo conformaron el manganeso en agua y los ortofosfatos. La mayor variación estuvo representada por el pH del sedimento y la profundidad. La temperatura fue independiente. Una última agrupación la conforman el zinc, cadmio, cobre y plomo en el agua.

### **INDICE DE FINEZA.**

El Índice de Fineza permite predecir la disponibilidad de asentamiento de desechos en el área, dependiendo de las características físicas de los mismos.

Los valores bajos denotan la presencia de granos más gruesos y el índice se incrementa con la elevación de la proporción de granos finos, señalando una mayor tendencia a la acumulación de contaminantes en áreas con altos índices de Fineza.

Pesch y Morgan (1978) determinaron que el tamaño de la partícula es sumamente

# Secas (época III)

0.000

DISTANCIAS

2.000

COBRE EN AGUA

ALCALINIDAD

pH SEDIMENTO

TEMPERATURA

AMONIO

CADMIO AGUA

ORTOFOSFATOS

NITRATOS

FIERRO AGUA

PLOMO AGUA

TRANSPARENCIA

PROFUNDIDAD

OXIGENO

NITRITOS

NIQUEL ORGANISMOS

MANGANESO ORGANISMOS

FIERRO ORGANISMOS

COBRE ORGANISMOS

ZINC ORGANISMOS

PLOMO ORGANISMOS

CADMIO ORGANISMOS

COBRE SEDIMENTO

ZINC SEDIMENTO

FIERRO SEDIMENTO

PLOMO SEDIMENTO

COBALTO SEDIMENTO

NIQUEL SEDIMENTO

MANGANESO SEDIMENTO

CADMIO SEDIMENTO

ZINC AGUA

MANGANESO AGUA

NIQUEL AGUA

SALINIDAD

pH AGUA

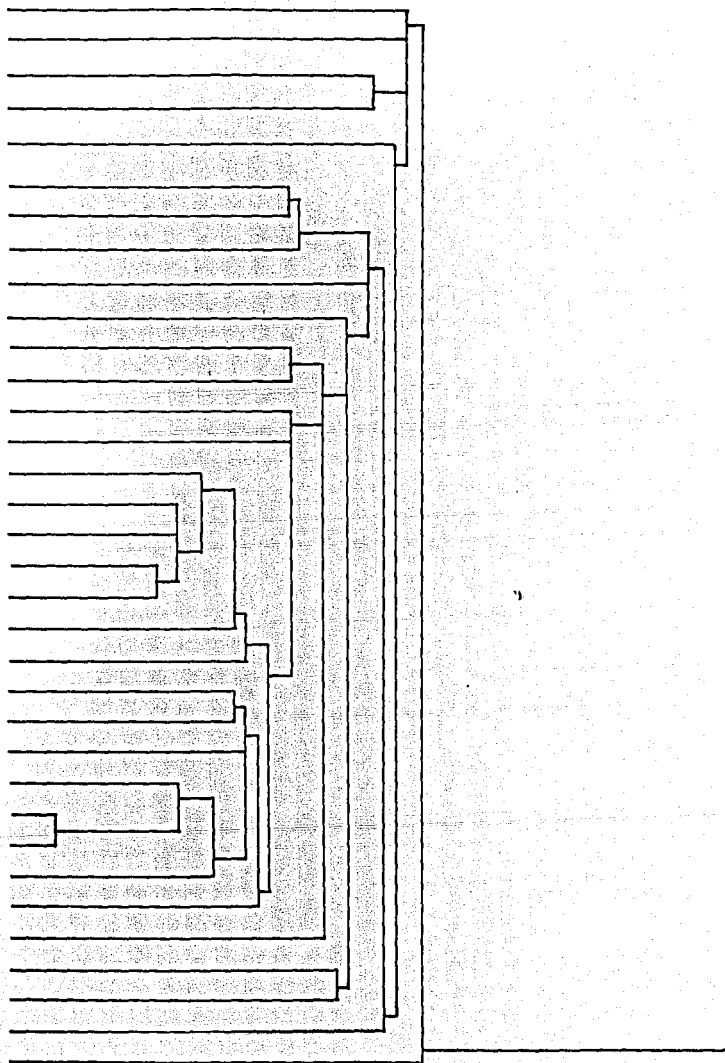


Fig. 38 Agrupamiento de metales en sedimento y en C. virginica para la época de secas 1985.



## Lluvias (época IV)

0.000

DISTANCIAS

2.000

PROFUNDIDAD  
 TEMPERATURA  
 MANGANESO AGUA  
 ORTOFOSFATOS  
 ZINC AGUA  
 CADMIO AGUA  
 COBRE AGUA  
 PLOMO AGUA  
 SALINIDAD  
 NITRITOS  
 COBRE SEDIMENTO  
 ZINC SEDIMENTO  
 PLOMO SEDIMENTO  
 MANGANESO SEDIMENTO  
 NIQUEL SEDIMENTO  
 COBALTO SEDIMENTO  
 CADMIO SEDIMENTO  
 TRANSPARENCIA  
 NIQUEL AGUA  
 NITRATOS  
 AMONIO  
 ZINC ORGANISMOS  
 FIERRO ORGANISMOS  
 MANGANESO ORGANISMOS  
 NIQUEL ORGANISMOS  
 PLOMO ORGANISMOS  
 COBRE ORGANISMOS  
 CADMIO ORGANISMOS  
 FIERRO SEDIMENTO  
 ALCALINIDAD  
 FIERRO AGUA  
 pH AGUA  
 OXIGENO  
 pH SEDIMENTO

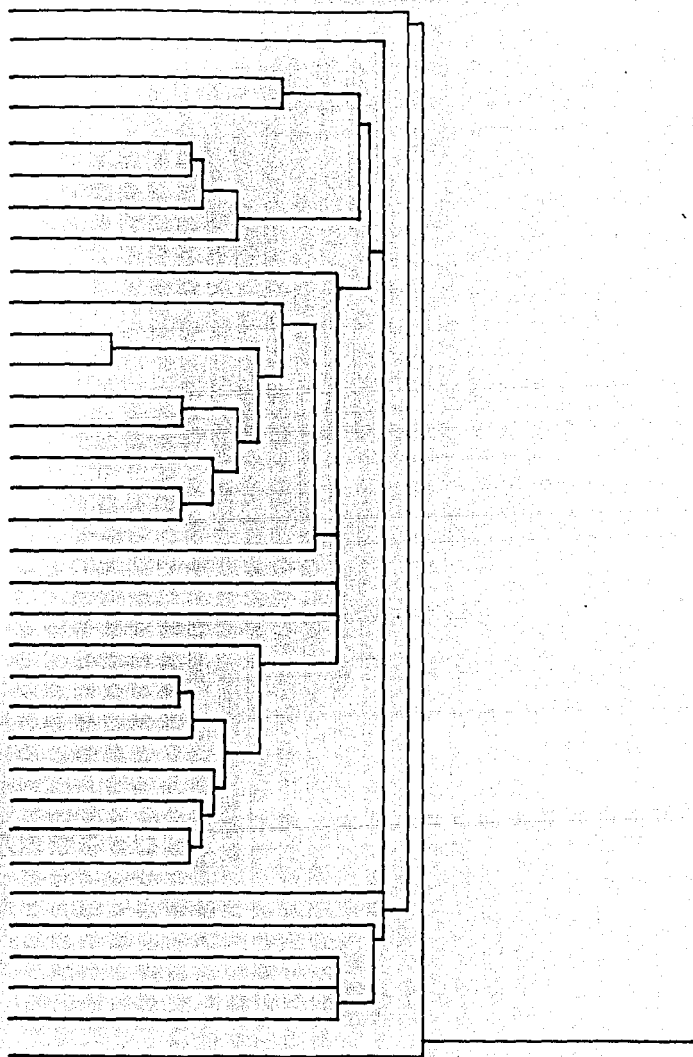


Fig. 39 Agrupamiento de metales en sedimento y en *C. virginica* para la época de lluvias 1985.

importante para determinar la toxicidad de los metales pesados para la biota. Los sedimentos de grano fino (limos y arcillas) retienen concentraciones de metales pesados más elevadas que los de grano grueso (arenas). Es por ello que las costas son más sensibles al impacto de los metales pesados, ya que por naturaleza tienen mayor contenido de granos finos.

Es así como la contaminación por metales pesados se produce en la zona costera, donde se lleva a cabo su mezcla y acumulación, siendo eliminados posteriormente hacia los sedimentos subyacentes con una fase sólida, biológica e inorgánica, iniciándose ahí la penetración de estos elementos hacia los tejidos vegetales y animales. Por procesos como adsorción, absorción, precipitación, floculación coloidal y fijación biológica activa o pasiva (Botello, 1983 citado por De León, 1987).

Los metales pesados estudiados, cerca del delta del río (en los bancos 2 y 4) en general denotan la mayor fineza, existiendo un gradiente similar entre la distribución de los metales y el que se presenta para el índice de fineza, en estas áreas confinadas (2 y 4) se tienen los sedimentos más finos, aunque también se presentan valores puntuales en algunos bancos como el 3, 10, y en los bancos 1 y 11 parece ser que se presenta una especie de trampa de sedimentos, y en la parte central pudiera existir un movimiento de desplazamiento.

La presencia de material fino en el área del río, bien podría ser un indicativo de la existencia de un transporte débil y un medio favorable para la sedimentación, mientras que las partículas gruesas en la zona de intermarea parecen indicar la resuspensión y erosión en la zona de la barra. Por lo que en general se aprecia que la erosión de la barra predomina sobre el aporte del río, en la región de influencia marina, próxima a la boca de la laguna.

El Índice de Fineza refleja que los sedimentos finos como limos y arcillas localizados en la desembocadura del río Tigre, se depositan en condiciones favorables, esto podría en su caso permitir la deposición de metales particulados.

En las cercanías de la barra se presenta la dispersión de limos finos a gruesos, denotando el asentamiento de los sedimentos limo arcillosos en la zona adyacente a la desembocadura.

La dispersión de los aportes en el área, se ve influenciada por la corriente del río, la cual redistribuye los sedimentos y con ello el material suspendido, de acuerdo con sus características físicas, dándose las condiciones favorables para el asentamiento de las partículas finas. Los atributos de fineza en el área del río tienen los valores más altos de las muestras analizadas en este estudio, mostrando una mayor susceptibilidad de depositación de partículas finas incluyendo los metales particulados.

Los sedimentos costeros son hospederos de los metales traza que se han incorporado

a ellos por procesos de sedimentación, adsorción y complejación orgánica. Por lo que la estimación de la distribución de las concentraciones de metales traza en los sedimentos es indispensable para cuantificar su impacto. Los metales traza están asociados principalmente con la fracción fina de los sedimentos, para realizar una interpretación adecuada de estos, se requiere también del conocimiento de las características texturales de los mismos.

## CONCLUSIONES

---

- En general los metales pesados estudiados no presentan concentraciones elevadas en las muestras analizadas para sedimento y agua, y se encuentran dentro de los límites establecidos.
  - Generalmente las tendencias estacionales que presentan los metales probablemente se deban tanto a las diferentes propiedades de estos, como a diferencias en los procesos metabólicos para cada metal.
  - Considerando las concentraciones generales de los metales estudiados disponibles para los organismos, se encontró que existe el siguiente orden de sucesión:  $Zn > Cu > Cd > Fe > Mn > Pb > Ni$ .
  - El orden de bioacumulación en los organismos estudiados fue como sigue:  $Zn > Cu > Cd$ .
  - En lo referente al análisis estadístico, los agrupamientos alcanzados en sedimento se deben probablemente a la constancia y poca variación de los metales en esta fase, ya que no existe un aporte significativo por efectos naturales.
  - El agrupamiento obtenido para *C. virginica* es debido a que es un organismo filtrador y por lo tanto almacenará diversos metales, ya que como se ha observado algunos de estos son esenciales para su metabolismo.
- En todas las muestras de sedimentos en la Laguna se encontró una fuerte asociación de las concentraciones de cada uno de los metales analizados con el índice de fineza y por lo tanto con el tamaño del grano sedimentario.

## LITERATURA CITADA

---

- AHRLAND, S. 1985. Inorganic Chemistry of the Ocean In: Irlog, K.J. and A.E. Martell (eds.). Environmental Inorganic Chemistry. V.C.H. Publishers, Inc. U.S.A. p. 65-88.
- ALBERT PALACIOS, L., 1983; III Curso Introducción a la Ecología Ambiental. Notas.
- ALVAREZ, R. y C. GONZALEZ. 1986. Niveles actuales de Hidrocarburos y Metales Pesados en aguas costeras del Océano Pacífico Mexicano. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo. Vol. XVIII, No. 3. Julio de 1986. p. 59-68.
- ARENAS, F.V., 1973. Principales contaminantes del mar. Biología 3 (4): 227-238.
- AVILA, P.P., 1988. Evaluación de los niveles de bioacumulación por metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica*, Gmelin, como indicadores de contaminación por hidrocarburos en el Canal del Chijol, Ver. Tesis profesional, Univ. Nal. Autón. de Guadalajara. pp. 116.
- AYLING, G.M., 1974 Uptake of cadmium, zinc, copper, lead and chromium in the Pacific Oyster *Crassostrea gigas*, grown in the Tamar river, Tasmania. Water Res., 8: 243.
- \_\_\_\_\_, 1973. Heavy metals Water Researchs. Vol. 8, p. 729.
- BALTROP, D., 1978. Exposure to Nickel and chromium. En: Trace metals: Exposure and health effects. Proceedings of the research seminar held at the University of Kindom. Ed. Elvira di Ferrante, Pergamon Press. 227-228.
- BERMAN, E., 1980. Toxic metals and their analysis, Ed. L.C. Thomas, London Heyden, 293 p.
- BERMEJO, F.M., 1983. Los metales y nosotros. Boletín de la Soc. de Químicos del Perú. En: Goldberg. D.E. 1979. La salud de los océanos. UNESCO, Madrid, España. 194 p.
- BOTELLO, A.V. y S. Villanueva. 1988. La contaminación y procesos geoquímicos en la Laguna de Términos, Campeche, México. (Memoria) Ecología de los ríos Usumacinta y Grijalva. INIREB. Div. Regional Tabasco, 770 pp.
- \_\_\_\_\_, y F. PAEZ-OSUNA, 1984. Evaluación geoquímica del Río Coatzacoalcos y áreas adyacentes. 1982-1983. Informe final presentado al

- \_\_\_\_\_, 1982. La contaminación en el mar. Ciencia y Desarrollo, (43): 91-101.
- \_\_\_\_\_, 1979. Presencia e importancia de hidrocarburos fósiles en el medio ambiente marino. Anales del Inst. Cienc. del Mar y Limnól. Univ. Nal. Autón. México. 6(1): 1-6.
- \_\_\_\_\_, and E.F. MANDELLI, 1978. Distribution of n-parafins in seagrasses, benthic algae, oyster and recent sediments from Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. Bull. Environ. Contam. Toxicol. (19): cap. 2, 162-170.
- \_\_\_\_\_, E. HIGKS and E.F., MANDELLI, 1976. Estudios preliminares sobre los niveles de algunos contaminantes en la laguna de Términos, Campeche. En: ICCRA-II Simposio sobre adelantos en las investigaciones marinas en el Caribe y Regiones adyacentes celebrado en Caracas, 12-16, julio de 1976. Contribuciones sobre oceanografía, meteorología y geofísica. F.A.O. Informes de pesca No. 200, suplemento, 267-280.
- BOUDENE, C., 1978. Food contamination by metals. En: Trace metals: Exposure and health effects Preceedings of the research seminar held at the University of Survey, Guilford, United Kindom. Ed. Elvira di Ferrante. Pergsmon Press. 163-164.
- BOUQUIAUX, J., 1974. En: Problems of the contamination of man and his environment by mercury and cadmium. Commiss. Eur. Comm. Luxembourg, 23-46.
- BOWEN, J.M., 1966. Trace metals in biochemistry. The biochemistry of the elements Chapter No. 12. Academic Press New-York. p. 173-210.
- BRYAN, G.W., 1976. Some aspects of heavy metal tolerance in aquatic organisms. En: Lockwood, A., Effects of pollutants on aquatic organisms. Soc. Exp. Biology sere 2. Cambridge Univ.: 7-34.
- \_\_\_\_\_, 1971. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organism. Proc. R. Soc. Lond. (177): 389-410.
- \_\_\_\_\_, and E. WARD, 1965. The absorption and loss of radioactive and non radioactive manganese by the lobster. Homarus vulgaris. J. Marine Biol. Ass. United Kindom 45: 65-95. En: Lockwood, Q., Effects of pollutants on aquatic

- organisms. Soc. Exp. Biology, Serie 2, Cambridge Univ., 7-34.
- BUTLER, P.A., ANDREN, L., BONDE, G.J., JERNELOV, A.V. and D.L. REISCH, 1971. Monitoring organism. F.A.O. Fisheries Reports No. 99, supplement. 1-101.
- CID, Z.S., 1984. Contribución al conocimiento de las poblaciones planctónicas en el estero de las Garabitas, de la Laguna de San Andrés, Tamps. Tesis profesional. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad del Noreste, Tamps.
- CLARK, R.B., 1986, Metals, Marine Pollution, Oxford Science Publ. 82-104.
- COOMBS, L.T., 1979. Cadmium in aquatic organisms. En: The chemistry, biochemistry and biology of cadmium. Ed. Weeb. Elsevier/Nort-Holland Biomedical Press. 93-139.
- CONTRERAS, F., 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca. p. 125.
- COSTA, M.M., K.J. MARCIA and O. LINDBERG, 1980. Metal carcinogenesis in tissue culture. En: Inorganic Chemistry in Biology and Medicine based on a Symposium/sponsored by the Division of Inorganic Chemistry at the 178 th. meeting of the Americal Society. Ed. Arthur E. Martell 346 p.
- CROATTO, U. 1985. Environmental Inorganic Chemistry. Irlog, K.J. and A.E. Martell (eds.). V.C.H. Publishers, Inc. U.S.A. p. 59-64.
- CUNNINGHAM, P.A. 1979. The use of bivalve molluscs in heavy metal Pollution Research In: Vernberg, W.B., A. Calabrese, F.P. Thurrberg and F.J. Vernberg (eds.). Marine Pollution: Functional Responses. Academic Press. N.Y. p. 183-222.
- CHESTER, R., and F.G. VOUTSINO, 1981. The initial assessment of trace metal pollution in coastal sediments, Marine pollution Bull. 12 (3):84-91.
- DAVIS, W.E., 1970. National inventory of sources and emission, 1968, Cadmium, Report to National Air Pollution Control Administration, Washington, D.C.
- DE BUEN, F., 1957. Crisis ostrícolas en México y su recuperación. Srfa. de Marina, México. Dir. Gral. de Pesca e Ind. conexas.

- DE LA LANZA, E.G. 1986. Disponibilidad de nutrimentos a partir de la materia organica en un sistema lagunar. *Ciencia*. 37: 247-254.
- DE LA TEJERA, C.M.P., 1984. Estudio de plancton en la Laguna de San Andrés. Tesis profesional. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad del Noreste, Tamps.
- DE LEON, N. O., 1987. Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes de dos sistemas costeros del Caribe mexicano. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 69 p.
- DIARIO OFICIAL. 1989. Acuerdo por lo que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Diario Oficial de la Federación. 13/XII/89.
- EISLER, R., 1981. Trace metal concentrations in marine organisms, Pergamon Press. Inc. USA. pp. 140-325.
- \_\_\_\_\_, and GARDNER G.R. 1973. Acute toxicology to an estuarine Teleost of mixtures of cadmium, copper and zinc salts. J. Fish. Biol. 5: 131-142.
- FARRINGTON, J.W., 1983. Bivalves as sentinels of coastal chemical pollution. The mussel (and oyster) watch. Oceanus. 26 (12): 18-29.
- FOOD and DRUG ADMINISTRATION, 1983. Federal Registration Reference. CPG 7108.07.
- FORSTNER, N., and G.T. WITTMANN, 1979. Metal pollution in the aquatic environment, Springer-Verlag, New-York. 11-18.
- FREITAS, S.T. and P.D. BOEHM, 1989. Contaminants in bivalve molluscs from the U.S. coastal Atlantic and Pacific. Proc. of 6th Symposium on coastal and Ocean Management, p. 3901-3915.
- FRAZIER, J.M., 1976. The Dynamics of metals in the American Oyster Crassostrea virginica II. Environmental Effects. Chesapeake Science, 17 (3): 188-197.
- \_\_\_\_\_, 1975. The dynamics of metals in the American Oyster, Crassostrea virginica J. Seasonal effects. Chesapeake Science: 16 (3):162-171.
- GALTSOFF, P.S., 1964. The American Oyster Crassostrea virginica



- GARCIA, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koopen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) Inst. Geofis., Univ. Nal. Autón, México. 246 p.
- GEMSI ad hoc GROUP, 1983. The use of marine sediments for pollution monitoring. Proc. The first meeting of the Gemsi ad hoc Group on the Use of Marine Sediments for Pollution Monitoring. Institut. de Cienc. del Mar y Limnól. UNAM. Mazatlán, México. April 11-15, 1983.
- GOLDBERG, D.E., M. KOIDE, V. HODGE, F.A. RUSSELL y J.H. MARTIN. 1983. Mussel Watch: 1977-1978. Results on trace metals and radionuclides. Est. Coast and Shelf Sci. 16:69-93.
- \_\_\_\_\_, V.T. BOWEN, J.M. FARRINGTON, G. HARVEY, J.H. MARTIN, P.L. PARKER, R.W. RISERBROUGH, W. ROBERTSON, E. SCHNEIDER and E. GAMBLE, 1978. The mussel watch., Envir. Conserv. 5: 101-125  
En: EISLER, R. Trace metal concentrations in marine organisms. Pergamon Press. INC. USA.
- \_\_\_\_\_, 1975. The mussel watch a first step on global marine monitoring., Mar. Poll. Bull., 6: 111p.
- GRASSHOFF, K.M. EHRHARDT, K. KREMLING, 1983. Methods of Seawater Analysis, Verlag Chemie. 2d. (ed). 400.
- GUTIERREZ-GALINDO, E.A., 1982. Comentario sobre el metabolismo de los metales pesados en organismos marinos. Ciencias Marinas, México, 3(1): 134-138.
- HALSTEAD, B.W., 1972. Toxicity of marine organisms caused by pollutants. En: Marine pollution and sea life. 584-594, ed. by RUIVO. London: FAO Fishing News (Brooks).
- HICKS, E.A., 1976. Variación estacional en la concentración de elementos metálicos en ostiones de la Laguna de Términos, Camp., México. Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM.
- HIGGINS, I.J. and R.G. BURNS, 1975. The chemistry and microbiology of pollution. University of Kent at Canterbury England. Academic Press. New York.
- I.M.P. 1987. Memorias del Curso Internacional "Impacto Ambiental" Subdirección de

- JERNELOV, A., 1974. Heavy Metals, Metalloids and Synthetic Organic. In: Goldber, E.D. The Sea Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas, Marine Chemistry. vol. 5. A Wiley Interscience Publication. John, W. and Sons, New York, pp. 799-815.
- JURADO, M. N., 1983. Determinación de nutrientes y sustancias tóxicas, así como parámetros físico-químicos en la Laguna de San Andrés. Tesis profesional. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad del Noreste. Tamps.
- KINGSTON, H.M., J.L. BARNES, and T.J. BRADY, 1978. Separation of eight transition elements from alkali and alkaline earth elements in estuarine and seawater with chelating resin and their determination by graphite furnace atomic absorption spectrometry. Analytical Chemistry, 50 (14): 2064-2070.
- KOPFLER, F.C. and J. MAYER, 1967. Studies of trace metals in shellfish. En: EISLER R., 1981. Trace metal concentrations in marine organisms., Pergamon Press. INC. USA.
- LAGERWEFF, J., 1972. Lead, mercury and cadmium as environmental contaminants in micronutrients in agriculture. Soil. Sci. Soc. Amer., 677: 593-636.
- LANKFORD, R.R., 1977. Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification. En: CRONINN, L.E., Estuarine Processes circulation, sediments and transfer of material in the estuary. Academic Press Inc. New York, 2: 182-215.
- LAXEN, D. y R. HARRISON, 1977. The highway as a source of water pollution: An appraisal with the heavy metal lead. Water Res. 11: 1-11.
- LEAL, K.D.S., 1985. Estudios Sanitarios del ostión C. virginica (Gmelin). Tesis profesional. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad del Noreste.
- LOPEZ, G. H., 1968; Estudios en las lagunas costeras en Tamaulipas, (Laguna de San Andrés). Mejoramiento hidráulico y posibilidades de desarrollo. Comisión Nacional Consultiva de Pesca II.
- LLOYD, R.M., 1965. Factors that affect the tolerance of fish to heavy metal. En: Biol. problems in water pollution, 3rd. seminar, U.S. Dept. Health, Education and Welfare. 181 pp.

- MANCE, G., 1987. Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. Elsevier Applied Science, London, p. 372.
- MANDELLI, E.F., 1979. Contaminación por metales pesados. Rev. Com. Perm. Pacífico sur, 10: 209-228.
- \_\_\_\_\_, 1976. Investigación y vigilancia de la contaminación por metales pesados. En: Reunión Internacional de trabajo COOI/OAA/PNUMA sobre la contaminación marina en el Caribe y Regiones adyacentes. Pto. España. París. 1-48.
- MARGALEFF, R., 1980. Ecología, Omega, Barcelona España, pp. 951.
- McGREER, E. R., B.J. REID and NELSON, 1980. Mobilization, bioaccumulation, and sublethal effects of contaminants from marine sediments. En: Proc. 7th. annual aquatic toxicity workshop. Nov. 5-7 Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. (1990): 130-151.
- Mc. INTERE y HO. 1969, En: TIZNADO Y SALDAÑA, 1980, Aportación al conocimiento del comportamiento hidrobiológico de la laguna de San Andrés, Aldama, Tamps. Mem. II Simp. Latinoamer. de Acuicultura:
- NELSON D.A, WENZLOFF D.R. CALABRESE A., 1986. Biological effects of heavy metals on juvenile bay scallops, *Argopecten irradians* in short-term exposures. Bull. Environ. Contamin. Toxicol. 16: 275-282.
- NIELSEN, F.J., 1980. Possible functions and medical significance of the abstruse trace metals. En: Inorganic chemistry in Biology and Medicine base on a symposium/sponsored by the Division of Inorganic Chemistry at the 178th meeting of the American Chemical Society, Ed. Arthur E. Martell 346 pp. Washington D.C.
- NORSETH, T., 1979. Health effects of nickel and chromium. En: Trace metals: Exposure and health effects, Proceedings of Guilford, United Kingdom. Ed. Elvira di Ferrante Pergamon Press, 135. Great Britain.
- NUÑEZ, G.M.T., 1985. Estudio de grasas y aceites en agua y ostión, en la Laguna de San Andrés. Tesis profesional. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad del Noreste.
- ORTIZ-GALLARZA, S.M. et al. 1994. Caracterización del Ambiente Acuático en la zona de descarga del Difusor Submarino de Du Pont, S.A. de C.V., Planta Altamira. Informe Final. SECRETARIA DE MARINA, DIRECCION GENERAL DE OCEANOGRAFIA NAVAL, ESTACION DE INVESTIGACION OCEANOGRAFICA

- PAEZ-OSUNA, F., M.L. FONG-LEE, H. FERNANDEZ-PEREZ, R. LOZANO-SANTA CRUZ y G. VILLASEÑOR, 1985. Heavy Metals and Mineralogy in Sediments Cores from Tropical Coastal Lagoons, México. Indian J. Mar. Sci. 13: 153-158.
- \_\_\_\_\_, VALDEZ, L.D., ALEXANDER, V.M. y R.H. HERNANDEZ, 1987. Trace metals in fluvial systems of Terminos Lagoon, Mexico. Mar. Poll. Bull. 11: 294-297.
- PALACIOS, M.R., 1983. Experimentación al semicultivo de ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin 1791) en la Laguna de San Andrés, Tamaulipas, Tesis profesional. UNAM.
- PARADA, E., O. VELASCO y M. AVILA, 1975. Determinación del contenido de plomo en alimentos enlatados. Rev. Tech. Aliment. 10 (4): 170-173.
- PEÑA, A., S.W. FOWLER, 1972. Análisis de microelementos en invertebrados marinos del Golfo de California. En: Mem. IV Congr. Nac. Océan. México. p.
- PEREZ-ZAPATA, A.J., 1983. La contaminación por plomo en Coatzacoalcos. Ciencia y Desarrollo, CONACYT, 52: 80-86.
- \_\_\_\_\_, 1981. Plomo y Mercurio. 58-61. En: Lagunas Costeras de Tabasco. Un ecosistema en peligro. Centro de Ecodesarrollo.
- PESCH, C.E. and D. MORGAN, 1978. Influence of sediment in copper toxicity test with the polychaete, *Neanthes arenaceodentata*. Water Res. 12: 747-751.
- PFEIFEER, W.C., M. FISZMAN and L.C. LACERDA. 1988. Heavy Metals Surveys in Brazilian Coastal Environments. In: seeliger, V., L.D. de Lacerda and S.R. Patchineelam (eds.). Metals in Coastal Environments of Latin America. Springer. Springer Verlag. p. 3-8.
- PHILLIPS, D.J.H., 1980. Quantitative aquatic biological indicators. Applied Science publishers, London, 488.
- PONCE, V.G., 1988. Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes y tejidos del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), de la Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis profesional, facultad

de Ciencias, UNAM. México. 70 p.

- RODIER, J. 1981. Análisis de las Aguas Naturales. Aguas residuales, Aguas de Mar. Ediciones Omega. Barcelona. 1059pp.
- ROMENSBURG, H.CH., 1984. Cluster analysis for researchers. Lifetime Learning Publications Belmont, California, 334p.
- RONDIA, D., 1978. Sources modes and levels of human exposure to niquel and chromium. En: Trace metals: Exposure and health effects. Proceedings of Survey, Guilford, United Kingdom. Ed. Elvira di Ferrante. Pergamon Press. 117. Great Britain.
- ROSALES, H.L., CARRANZA E.A. y ALVAREZ, R.U., 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado Lagoon System, Veracruz, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnól. Univ. Nal. Autón. México, 9:11411-60.
- ROSAS, I.A., BAEZ and R. BELMOND, 1983. Oyster (Crassostrea virginica) as indicator of heavy metal pollution in some lagoon of the Gulf of Mexico. D. Reidel Publishing Company. Water, Air, Soil, Pollution, (20): 127-135.
- RYAN, J.D. and H.L. WINDOM. 1988. A Geoquimical and Stadistical Approach for Assessing Metal Pollution in Coastal Sediments In: Seeliger, V.L.D. de Lacerda and S.R. Patchineelam (eds.). Metals in Coastal Environments of Latin America. Springer Verlag. p. 47-58.
- RILEY, J.P. and CHESTER, R., 1971. Introduction to marine chemistry. Academic press, London. 465.
- SALOMONS, W., and V. FORSTNER, 1984. Metals in the hidrocycle. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany 349 p.
- SATSMADJIS, J. and F. VOUTSINOUS-TALIADOURI. 1983. Mytilus galloprovincialis and Parapenaeus longirostris as bioindicators of heavy metal and organochlorine pollution. Marine Biology 76, 115-124.
- SCHELSKE, C.L., 1964. Ecological implications of radiaactivity accumulated by mollusc. Ecology 45, 149-150.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS, (SARH), 1975. Legislación relativa al agua y su contaminación.

- SEDUE, 1986. Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas. Serie: Normatividad Ecológica, No. 4.
- STRICKLAND, J.D.H. y T.R. PARSONS, 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Can. Bull. (167): 2nd. ed. 310 p.
- TABATA, K., 1969. Studies on the toxicity of heavy metals to aquatic animals and the factors to decrease to toxicity. Bull. Tokaj. Rev. Fish. Res. Lab. (59): 203-261.
- TIZNADO, A.L., y R. SALDAÑA, 1980. Aportación al conocimiento hidrobiológico de la Laguna de San Andrés, Aldama, Tamps. En: Mem. II Simp. Latinoamer. de Acuicultura: 375-392.
- VALKOVIC, V., 1980. Analysis of biological material for trace elements using X-ray Spectroscopy. Ed. Vladovalcovic. Fla. CRC. Press. 242.
- VALLEE B.L. 1963. Molecular basis of enzyme action and inhibition. Proc. Intern. Congr. Biochem. 5th, Moscú, 1961, (4), 162-171.
- VAN DER LEEDEN, F., F.L. TROISE and D. KEITH TODD. 1990. The water Encyclopedia. 2nd ed. Geraghty & Miller Ground-Water Series. Lewis publishers. 808 pp.
- VANHASSEL, J.H., NEY J.J. and GARLING D.L. Jr., 1980. Heavy metals in stream ecosystem at sites near highways. Trans. Am. Fish. Soc. 109: 63-643.
- VAZQUEZ, G. F., VELAZQUEZ D.H., FRAUSTO C.J.A, OSORNO, O.A., OLIVARES, M.R. y RAMIREZ R.T., 1986. Físicoquímica de la Laguna de Términos y su Plataforma Continental. En: Proyecto de Investigación: Interacciones ecológicas Estuario-Mar en la Región de la Laguna de Términos. (Informe final). CECENA-021925/CONACYT-UNAM.
- VERNBERG, J.F., 1974. Pollution and physiology of marine organisms. Academic Press. New York, 492.
- VILLANUEVA, F.S., BOTELLO, A.V., PAEZ, O.F., 1988. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Ver., México. Contam. Ambient. 4: 19-31.
- \_\_\_\_\_, 1987. Evaluación de metales pesados en los sedimentos y organismos del Río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Ver., México. Tesis profesional. ENEP-ZARAGOZA, UNAM, México. 82 p.

- WALDICHUK, M., 1977. La contaminación mundial del mar: una recapitulación. Comisión Oceanográfica Intergubernamental/UNESCO. 98 pp.
- \_\_\_\_\_, 1974. Some biological concerns in heavy metals pollution. Pollution and physiology of marine organisms. Ed. F. John Vernberg, Winona B. Vernberg. Acad. Press. New York. 1-55.
- WALKER, M.D. and D.R. WILLIAMS, 1974. J.C.S. En: WEEB, M (Ed.), The Chemistry, biochemistry and biology of cadmium. Topics in environmental health. (2) Elsevier /North- Holland Biomedical Press. Amsterdam. The Netherlands. 465.
- WEBB, M. (Ed.), 1979. The chemistry, biochemistry and biology of cadmium. Elsevier/North-Holland Biomedical Press. Amsterdam. The Netherlands. 465.
- WOOD, P., 1979. Public health aspects of shellfish from polluted waters. En: Biological indicators of water quality. Ed. A. James y Evison, cap. 13.
- WOLFE, P.A. and T.R. RICE, 1972. Cycling of elements in estuaries. Fish. Bull. 70. 959.
- WRIGHT, D.A., 1972. J. Exp. Biol. 67: 137-146.