

00521
42



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"METALES TRAZA EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE MECOACAN, TABASCO DURANTE LA EPOCA DE ESTIAJE Y LLUVIAS DEL 2001"

TESIS CON FALLA LE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :

ALEJANDRO DUCOING NARVAEZ



MEXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

Presidente

Prof. Rodolfo Torres Barrera

Vocal

Prof. Víctor Manuel Luna Pabello

Secretario

Prof. Felipe Vázquez Gutiérrez

1er. Suplente

Profa. Landy Irene Ramírez Burgos

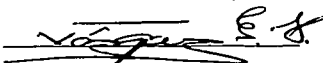
2º. Suplente

Prof. Alfonso Duran Moreno

Sitio donde se desarrollo el tema:

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM.
Circuito Exterior s/n Ciudad Universitaria.

Asesor del tema: Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez



Sustentante: Ducoing Narváez Alejandro



DEDICATORIA

A mis Padres Miguel y Lupis por confiar y creer siempre en mí, por su apoyo y cariño.

A mis hermanos Claudia y Miguel por su ayuda en las buenas y en las malas.

A Mimima por su amor y sus oraciones.

A Naomi por ser parte de este logro.

A mis compañeros y amigos de la facultad de química por su amistad.

A Dios por haberme dado una familia como la que tengo.

AGRADECIMIENTOS:

Al Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez por el apoyo que me brindó para la realización de esta tesis.

Al M.C. Héctor Alexander y al Biol. Antonio Frausto por sus enseñanzas y consejos en el laboratorio.

A mis sinodales por sus comentarios para mejorar este trabajo.

Al QFB. Emilio Díaz Torres por sus grandes consejos en este trabajo.

A mis compañeros del Instituto de Ciencias del mar y limnología por su amistad y apoyo.

El presente trabajo se realizó gracias al proyecto de "Evaluación integral de la Laguna de Mecocacán, Municipio de Paraiso, Tabasco" en el Laboratorio de Físicoquímica Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Auspiciado por el convenio de colaboración PEP-RMSO-GSIPA-UNAM, No.002 y el proyecto UNAM: 132.

E

ÍNDICE

	Pág.
I. Resumen	1
II. Introducción	2
III. Objetivos	5
IV. Antecedentes	6
4.1 Generalidades sobre metales traza	7
4.2 Límites permisibles de metales traza en sedimentos	10
V. Área de estudio	11
VI. Metodología	14
VII. Resultados	17
VIII. Análisis de Resultados y Discusión	24
IX. Conclusiones	30
X. Bibliografía	31
XI. Anexos	35

F

I. RESUMEN:

Se llevaron a cabo dos muestreos en la Laguna de Mecoacán en el estado de Tabasco durante la época de estiaje (abril) y lluvias (agosto) del 2001.

Actualmente el desarrollo de la industria petroquímica así como los asentamientos humanos han provocado serios problemas de contaminación. Por eso es necesario realizar la determinación de metales traza ya que permiten generar datos con los cuales se pueda conocer el estado de la laguna, ya que esta región es un importante centro de producción ostrícola y puede poner en riesgo la salud de los organismos así como los seres humanos que los consumen.

La determinación de metales traza fueron comparados con los parámetros de metales traza en sedimentos marinos publicados por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en 1999. Estos resultados muestran que la concentración de los metales analizados se encuentran por arriba de los límites establecidos por dicha entidad.

Al comparar los resultados obtenidos durante las dos épocas del año estudiadas, se observó que los parámetros fisicoquímicos tales como: salinidad, pH y temperatura, así como las determinaciones de metales traza, no varían considerablemente.

La variabilidad de metales traza en las distintas estaciones, muestran que la presencia de éstos en la laguna se debe principalmente a la descarga de aguas residuales de origen industrial y urbano.

II. INTRODUCCIÓN:

Es importante el estudio de metales traza en el medio ambiente, ya que representan un esfuerzo en los proyectos de conservación del mismo porque permiten evaluar el impacto del desarrollo demográfico e industrial.

El sureste del Golfo de México cuenta con una saturada red de escurrimientos, llanuras deltáicas, sistemas lagunares, esteros, marismas etc., que se extienden a lo largo del litoral a una distancia de más de 160 km. (Aldeco y Salas, 1994). La cual es el producto de la interacción de factores geológicos, físicos, químicos, climáticos y biológicos, cuyo resultado permite que las condiciones ambientales sean únicas.

El sistema lagunar de Mecoaacán, ubicado en el estado de Tabasco, se encuentra asociado a tres de los ríos más importantes del país: el Mezcalapa, el Grijalva y el Usumacinta, así como a otros cuerpos de agua como son: el Río González, las lagunas Tinaja, Eslabón, Troncón, Pomposú, la Negrita, la Tilaza, Manatí y Arrastradero (Gómez, 1977). La interacción de estos cuerpos de agua permiten que esta zona presente un alto valor ecológico, cultural y socioeconómico que justifican plenamente el llevar a cabo programas de desarrollo sustentables para su conservación y aprovechamiento, así como para poder enfrentar los problemas que las actividades antropogénicas puedan provocar.

Mecoaacán conformaba uno de los sistemas costeros más productivos del país. Tabasco aportaba el 36% de la producción ostrícola nacional y México ocupaba el sexto lugar a nivel mundial. Sin embargo, el frágil equilibrio que permite una concentración salina moderada en las lagunas costeras tabasqueñas, fue roto por las obras de infraestructura industrial de la zona, en lo que se puede considerar como uno de los mayores desastres ambientales del país, ya que no solo alteran el hábitat natural, si no que se ven amenazados los ecosistemas por los derrames de petroleros provocados por perforación de pozos, (Zavala, 1988; López y Zavala, 1988) lo cual se ve reflejado en la presencia de níquel, vanadio, bario, plata, plomo y zinc

principalmente. Otras de las causas del desequilibrio ecológico son la extracción de productos forestales y de la fauna silvestre, además de una creciente penetración cultural debido a una modernización eventual en el estado.

En el estado de Tabasco desde hace más de cuatro décadas, los sistemas naturales tanto terrestres como acuáticos se han visto modificados a diferente escala por: los asentamientos humanos irregulares, las descargas de aguas residuales (las cuales, en general carecen de tratamiento), la expansión de las actividades agropecuarias, la caza furtiva, la falta de una cultura ambiental, o la imposibilidad de aplicar políticas eficaces por parte del sector público, entre otros muchos (Centro de ecodesarrollo, 1981).

Los diversos cuerpos de agua de Tabasco, ríos, lagunas, estuarios y zonas costeras adyacentes son reservas naturales donde se acumulan numerosos contaminantes en el sedimento, 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 afecta la salud humana y la riqueza pesquera de la región, ya que sirven como criaderos naturales para algunas especies marinas, constituyendo así áreas importantes de explotación (Contreras, 1985).

El estudio de metales traza en sedimentos nos señala el grado del impacto ambiental, sin embargo éste debe ser un estudio integral de los diversos componentes del ecosistema, como son el tipo y uso del suelo, vegetación, calidad del agua, calidad del aire, escurrimientos superficiales, incluyendo aspectos del desarrollo urbano, situación y problemáticas socioeconómicas, y de salud, entre otras.

La investigación sobre impacto ambiental en los sistemas lagunares costeros como el de la Laguna de Meacoacán, permite contribuir a la planificación y manejo de los recursos naturales, así como, a la mitigación de los posibles impactos ambientales.

En el municipio de Paraíso, existen diversas condiciones que tienen potencial para propiciar la ocurrencia de situaciones de emergencia originadas por fenómenos destructivos de

origen natural como huracanes, inundaciones, incendios y de origen humano tales como concentraciones de población o derrame de sustancias peligrosas, entre otros.

El presente trabajo es un marco de referencia sobre la concentración actual de metales traza en el cuerpo de agua de la laguna de Meacoacán, Tabasco que sirve para evaluar el grado de contaminación y para completar una serie de estudios de impacto ambiental por las actividades petroleras.

III. OBJETIVOS:

- ❖ **Determinar las concentraciones de metales traza en sedimentos (cobalto, cobre, cromo, níquel, plomo, vanadio, zinc) de la laguna de Mecoacán y comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos por la NOAA 1999 (National Oceanic and Atmospheric Administration) para caracterizar el estado actual de la laguna.**
- ❖ **Establecer si existen diferencias de acuerdo a la estación del año (estiaje y lluvias).**

IV. ANTECEDENTES:

Las lagunas costeras son cuerpos acuáticos litorales que tienen una comunicación permanente o efímera con el mar y son el resultado del encuentro de dos masas de agua: una que proviene del continente a través de los ríos y otra que proviene de los océanos por medio de las mareas (Barnes, 1980). El resultado de este encuentro es un ecosistema que tiene una alta productividad.

Dentro de la clasificación de los sistemas costeros (Lankford, 1977) la laguna de Mecoacán pertenecen al sistema de estuarios, los cuales son cuerpos de agua de mar, marginales y semicerrados en los que la salinidad es sensiblemente diluida por descargas fluviales.

Los sedimentos ricos en petróleo contienen cantidades importantes de mercurio, plomo, cromo, níquel, vanadio y zinc. El petróleo puede ser un vehículo para la movilización y el transporte de algunos metales en zonas costeras. Los resultados sobre la presencia de metales en sedimentos de lagunas y ríos de los estados costeros y del mar abierto, revelan que es en Veracruz y Tabasco donde existe una mayor concentración de plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel y zinc. (Villanueva y Páez, 1998).

En toda la franja litoral, Tabasco ha presentado las mayores concentraciones de cobre y zinc en sus sedimentos, especialmente en la Laguna de las Ilusiones. Esto refleja los elevados volúmenes de agua de uso doméstico que se descargan en la laguna (Villanueva y Páez, 1998).

El municipio de Paraíso cuenta con 6 corredores de líneas de transportación de hidrocarburos principalmente de petróleo y gas combustible, con una longitud total de 556 + 096 kilómetros. Entre los corredores de líneas más importantes podemos mencionar los siguientes: Dos Bocas-Castaño-Castarrical, Puerto Ceiba-Dos Bocas,

BAT. Pijije-Dos Bocas, Arrastradero-Entronque Dos Bocas-Castaño y Castarrical-Dos Bocas.

4.1 Generalidades sobre metales traza

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Como su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%, también se les conocen como metales traza (Scheiner, *et al.*, 1989). Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados; este es el caso del As, B, Ba y Se.

Dentro de los metales traza hay dos grupos:

- Oligoelementos o micronutrientes, que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.
- Metales traza sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi.

Lo que hace tóxicos a los metales traza no son sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio. Cabe recordar que los seres vivos "necesitan" (en pequeñas concentraciones) elementos para funcionar adecuadamente, como son: el cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio, y zinc. (Frederick, 1978).

Todos los elementos traza se encuentran presentes en los medios acuáticos (el agua químicamente pura no existe en la naturaleza), aunque sus concentraciones (en ausencia de contaminación) son muy bajas. Los metales traza se encuentran en estas aguas como coloides, partículas minerales (sólidos en suspensión), o fases disueltas (cationes o iones complejos). Las formas coloidales suelen dar lugar a la formación de hidróxidos, mientras que las partículas sólidas incluyen una gran variedad de minerales. Las fases disueltas pueden a su vez ser capturadas por adsorción o absorción en arcillas o hidróxidos. Adicionalmente, los compuestos orgánicos pueden constituir fases con gran capacidad de captura de cationes metálicos, que en ocasiones dan lugar a fases extremadamente tóxicas (ej., metilmercurio: $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$).

A su vez la química del sistema acuoso regula las tasas de adsorción-absorción en el sistema agua-sedimento. La adsorción remueve el metal de la columna de agua; la desorción lo incorpora nuevamente a ésta. Los parámetros que regulan el sistema son: la salinidad, el potencial redox y el pH (Riley y Chester, 1989):

- Un incremento de la salinidad conlleva una competencia, entre metales traza y metales de los grupos I y II, por los sitios de ligazón (p.ej., espaciado interlaminar en las arcillas), lo que se traduce en la expulsión de los metales pesados, y su devolución a la columna de agua.
- Un incremento del potencial redox genera la inestabilidad de los compuestos reducidos (ej., sulfuros), poniendo el metal en solución.
- Un decremento del pH tiene dos efectos: 1) induce la disolución de compuestos metal-carbonato (ej., cerusita: PbCO_3); y 2) aumenta la solubilidad de los metales disueltos.

El decremento del pH puede ligarse directamente a la serie de fenómenos fisicoquímicos que se derivan de la oxidación de especies sulfuradas (particularmente la pirita: FeS). Esto genera la formación del denominado drenaje ácido. El sistema se encuentra así fuertemente regulado por: 1) las cantidades iniciales de pirita en el

yacimiento (de sulfuros o carbones piritosos) o la escombrera (*mineral dump*); 2) por la presencia de bacterias oxidantes (p.ej., *T. ferrooxidans*); y 3) los niveles de oxígeno.

Los organismos acuáticos pueden verse severamente afectados por pequeñas concentraciones de elementos traza en algunos casos puede que no induzcan su muerte, sin embargo desarrollarán una serie de problemas fisiológicos y metabólicos (a estas dosis se les denomina subletales) de acuerdo a Foulkes (1989) los principales problemas son:

- Cambios histológicos o morfológicos en los tejidos.
- Cambios en la fisiología como supresión del crecimiento y desarrollo, torpeza para nadar, etc.
- Cambios en la bioquímica del organismo, tales como en la actividad enzimática, y química de las sangre.
- Trastornos del comportamiento.
- Cambios en la reproducción.

Algunos organismos pueden regular las concentraciones de metales presentes en sus tejidos. Por ejemplo, los peces y crustáceos pueden excretar metales esenciales para su metabolismo (p.ej., Cu, Zn, Fe), siempre y cuando éstos superen las dosis requeridas. Desgraciadamente otros metales (no esenciales) tales como el mercurio o el cadmio son excretados con mayor dificultad.

Las vías de incorporación de los metales pesados a los organismos acuáticos son las siguientes:

- Cationes metálicos libres que son absorbidos a través de los órganos respiratorios externos (agallas), los cuales pasan directamente a la sangre.
- Cationes metálicos libres que son adsorbidos por el cuerpo y luego pasivamente difundidos al torrente sanguíneo.

- Metales que son adquiridos durante la ingesta de organismos (otros peces, bivalvos, o algas) contaminados.
- En el caso de las algas, el proceso ocurre por absorción a través de las paredes celulares y difusión posterior.

4.2 Límites permisibles de metales traça en sedimentos marinos

Debido a que en nuestro país se carece de normas que regulen la concentración de metales traça en sedimentos marinos, se tomará como parámetro de comparación, la normatividad de los Estados Unidos de América (NOAA, 1999), donde se determinan una serie de límites para las concentraciones de metales pesados. Por encima de éstos los metales pueden causar graves trastornos en los seres vivos, y finalmente ocasionar la muerte. En la siguiente tabla se muestran los rangos de concentración de metales traça máximos para sedimentos marinos.

Tabla 4.2.1. Límites máximos permisibles de metales traça en sedimentos.

Metal	Límite permisibles (ppm)
Cobalto	10
Cobre	36 - 86
Cromo	37 - 86
Níquel	18 - 43
Plomo	35 - 91
Vanadio	50
Zinc	123 - 315

NOAA, 1999

V. ÁREA DE ESTUDIO:

La Laguna de Mecoacán está situada en el extremo oeste de la costa de Tabasco (Figura 5.1), cerca del poblado de Puerto Ceiba, entre las coordenadas 18°16' a 18°26' de latitud norte y 93°04' a 93°14' de longitud oeste (De la Lanza, 1991).

Su forma es irregular alargada, paralela a la línea de costa, con el eje mayor orientado de este a oeste con una longitud aproximada de 12 km, un ancho máximo de 5.5 km y cubre un área aproximada de 62 km², está rodeada de pantanos y vegetación de manglar. Se encuentra separada del Golfo de México por una barrera litoral de origen marino, de aproximadamente 12 km de largo por 3 km. de ancho y alrededor de 4 km de altura máxima, formada por antiguos cordones de playa. La comunicación con el Golfo es constante y se realiza a través de una boca natural de aproximadamente 300 m de ancho llamada Barra de Dos Bocas (Galaviz, *et al.*, 1987).

En su parte norte, próxima a la desembocadura del Río Seco y la Barra de Dos Bocas, se localiza la Isla Morelos; al sur de ella el cuerpo lagunar sufre un estrechamiento llamado Boca Grande, formado por una barra de bellote y un grupo de pequeños islotes que forman parte del sistema lagunar y asociados a la laguna principal se localizan dos cuerpos de agua pequeños denominados lagunas Tilapa y La Negrita, los cuales comunican a la Laguna Mecoacán a través de canales (Aguilera, 1977).

El clima que predomina en la región es el cálido húmedo con lluvias en verano Amw''(1')g. Pertenece a la región hidrológica 30, cuyas características representativas son:

Tabla 5.1. Características de la zona de estudio

Parámetro	Minima	Máxima
Evaporación (mm/año)	916	2022
Precipitación (mm/año)	379	5394
Temperatura (°C)	2	38

Este cuerpo acuático presenta una profundidad de entre 0.3 y 2.3 m, el promedio es de 1 m y el canal de acceso al mar registra algunos tramos de 8 m y se localiza al norte.

La mayor parte de la laguna presenta sedimentos areno-limosos y areno-arcillosos. En el área central una franja limo-arenosa y en los bordes noreste y sur aparecen sustratos limo-arcillosos. Los aportes de materia orgánica provienen principalmente del manglar que rodea a la laguna así como del acarreo de los ríos. (Galaviz-Solis *et al.* 1987).

El área que ha sido descrita por Psuty (1966), Tanner y Stapr (1971) y Thom (1967); corresponde con la unidad tectónica que Álvarez (1949) nombró como Cuenca Salina del Istmo y con la unidad morfotectónica III, sugerida por Carranza-Edwards *et al.* (1975). La costa es de tipo primario, formada por los procesos de sedimentación terrígena diferencial debidos a la actividad de los sistemas fluviales de los ríos Mezcalapa y Grijalva, que caracterizan a la región. De acuerdo al criterio tectónico propuesto por Inman y Nordstrom (1971) la costa es del tipo de "mares marginales".

En la laguna de Mecoacán existen dos tipos de vegetación, los manglares y la vegetación de pantanos y otras formas asociadas como matorrales halófitos, la mucalería, popales, tulares y comunidades flotantes.

La fauna más notable la constituyen los peces, moluscos y crustáceos. Entre los mamíferos están los manatíes, algunos reptiles y anfibios. Los moluscos ocupan un lugar importante ya que el ostión se reproduce en gran medida. El grupo de aves es de los más representativos y variados de la fauna local residente y migratoria, que utilizan el área como refugio temporal. (García, *et. al.*, 1998).

Figura 5.1. Imagen de satélite del área de estudio.



1. Campo petrolero y Puerto de Dos Bocas
2. Río Seco
3. Ciudad de Paraiso
4. Comalcalco
5. Campo petrolero
6. Río artificial de PEMEX
7. Boca de la laguna

VI. METODOLOGÍA:

Para el desarrollo de este estudio se llevo acabo trabajo de campo y de laboratorio.

Trabajo de campo:

Se realizaron dos muestreos en el 2001: uno en el mes de abril que corresponde a estiaje (secas) y otro en el mes de septiembre que corresponde a la época de lluvias. Donde se eligieron 18 estaciones de muestreo distribuidas en toda el área de la laguna.

Las muestras de sedimento se tomaron con una draga Van Veen de 5 L de capacidad; teniendo cuidado de no tomar la muestra que estuyese en contacto con ésta y se pusieron en bolsas de plástico lavadas previamente con HNO_3 .

Trabajo de laboratorio:

Utilizando el método de desorción de metales y análisis con horno de grafito (Tessier, *et al.*, 1979), se toma una muestra de 1 g de sedimento seco, el cual se coloca en un matraz Erlenmeyer y se le adicionan 10 mL acetato de sodio 1M; se dejara agitando durante 2 horas. Se filtra y se afora a 25 mL con agua deionizada para posteriormente determinar la concentración de cada metal en un espectrofotómetro de absorción atómica. Figura 6.1.

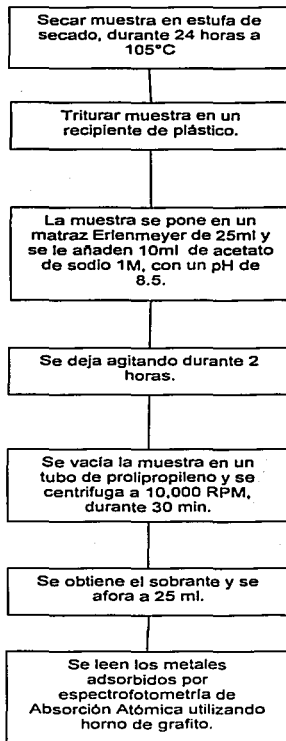


Figura 6.1. Diagrama de flujo para la determinación de metales adsorbidos en sedimento. (Tessier, et al., 1979)

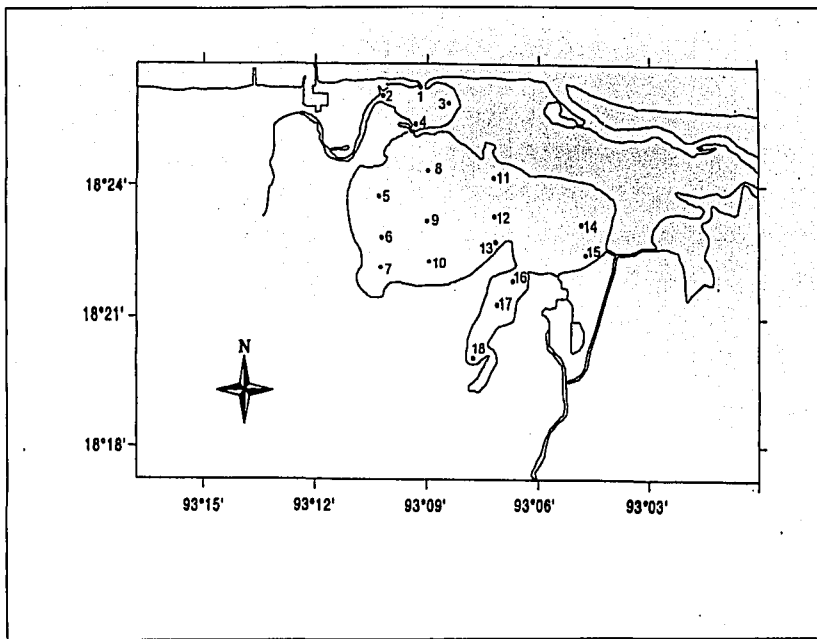


Figura. 6.2. Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo.

VII. RESULTADOS:

Cobalto:

El valor máximo de concentración en la época de estiaje se presentó en la estación 16 con una concentración de 29 ppm; el valor mínimo se localizó en la boca de laguna en la estación 2 con un valor de 8 ppm. La media fue de 17.72 ppm. (Fig. 7.1)

En la época de lluvias el valor máximo de concentración fue de 27 ppm en la estación 16, el valor mínimo se encuentra en la estación 2 con una concentración de 11 ppm. El valor promedio de la concentración de cobalto en la laguna fue de 18.39 ppm.

Cobre:

En este caso se presentó una menor concentración en la época de estiaje con respecto a la de lluvias en relación a la concentración máxima de 69 ppm en la estación 1, mientras que el valor mínimo se localiza en la estación 2 con un valor de 26 ppm. La media fue de 45.44 ppm.

En la época de lluvias la media fue de 41.44 ppm el valor máximo de concentración fue de 58 ppm en la estación 17, sin embargo el valor mínimo de concentración que se encuentra en la estación 12 fue de 26 ppm. (Fig. 7.2)

Cromo:

La concentración de cromo tanto para la época de estiaje como la de lluvias fue de un orden de magnitud mayor que la de otros metales. En la época de estiaje, se presentó la mayor concentración en la estación 18, con un valor de 332 ppm,

mientras que el valor mínimo fue de 88 ppm, localizado en la estación 2. El valor promedio de concentración fue de 251.17 ppm. (Fig. 7.3)

En la época de lluvias encontramos que el valor máximo conservó el mismo orden de magnitud, disminuyendo ligeramente a 329 ppm en la estación 18. Sin embargo el valor mínimo, aumento ligeramente con respecto a la época de estiaje ya que se encontró una concentración de 95 ppm en la estación 2. En este caso, la media fue de 248.00 ppm.

Níquel:

En este caso los valores no se modificaron notablemente con respecto a las dos épocas de muestreo, ya que en la época de estiaje la concentración máxima fue de 135 ppm en la estación 15, mientras que en la época de lluvias fue de 144 ppm en la estación 14. El valor mínimo en la época de estiaje se localiza en la estación 2 con un valor de 33 ppm, mientras que en la de lluvias fue de 39 ppm en la estación 2. La media para la época de estiaje fue de 104.17 ppm y se incrementó ligeramente en la época de lluvias con un valor de 101.61 ppm. (Fig. 7.4)

Plomo:

El valor máximo de concentración en la época de estiaje se presentó en la estación 14 con una concentración de 21 ppm; el valor mínimo se localiza en la estación 2 con un valor de 10 ppm. La media fue de 15.33 ppm.

En la época de lluvias el valor máximo de concentración fue de 21 ppm al igual que en la época de estiaje, sin embargo se localiza en la estación no. 4, el valor mínimo se encuentra en la estación 5, con una concentración de 11 ppm, la media fue de 15.06 ppm. (Fig. 7.5)

Vanadio:

En estiaje el valor máximo se presentó en la estación 1 con una concentración de 155 ppm; el valor mínimo se localiza en la estación 3 con un valor de 66 ppm. La media fue de 119.11 ppm.

Durante la época de lluvias el valor máximo de concentración fue de 161 ppm en la estación 1, el valor mínimo se encuentra en la boca de la laguna en la estación 3 con una concentración de 59 ppm, la media fue de 120.50 ppm. (Fig. 7.7)

Zinc:

Los valores máximos y mínimos de concentración no se vieron modificados notablemente durante la época del año, en la época de estiajes el valor promedio fue de 103.33 ppm, mientras que para la época de lluvias fue de 99.44 ppm. (Fig. 7.8)

Los valores máximos de concentración para la época de estiaje y lluvias fueron de 144 y 142 ppm respectivamente, ambos localizados en la estación 1. Los valores mínimos fueron: para la época de estiaje de 55 ppm en la estación 2, mientras que en la época de lluvias fue de 48 ppm.

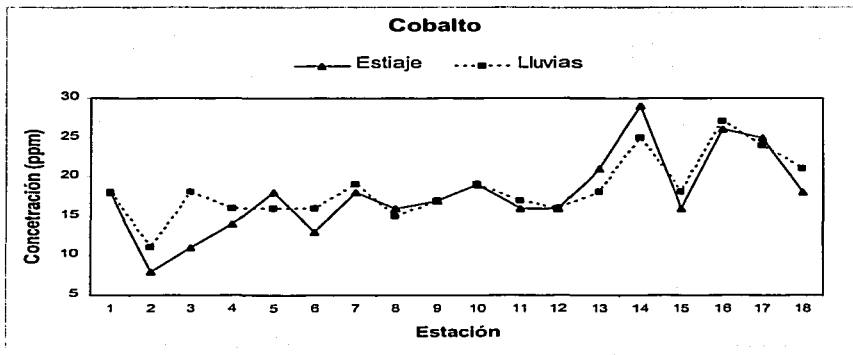


Fig. 7.1 Distribución de Co durante las épocas de Estiaje y Lluvias.

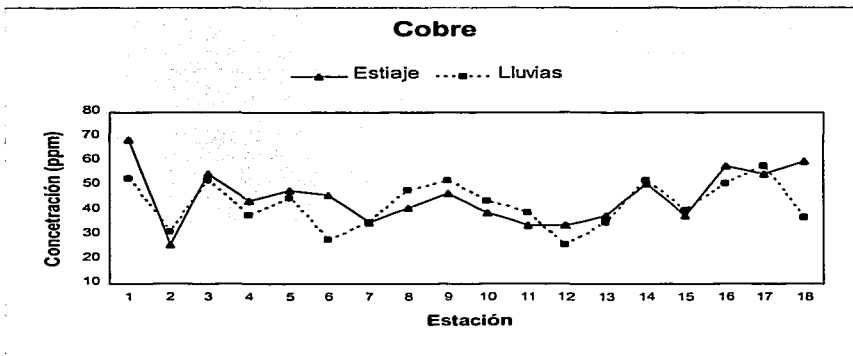


Fig. 7.2 Distribución de Cu durante las épocas de Estiaje y Lluvias.

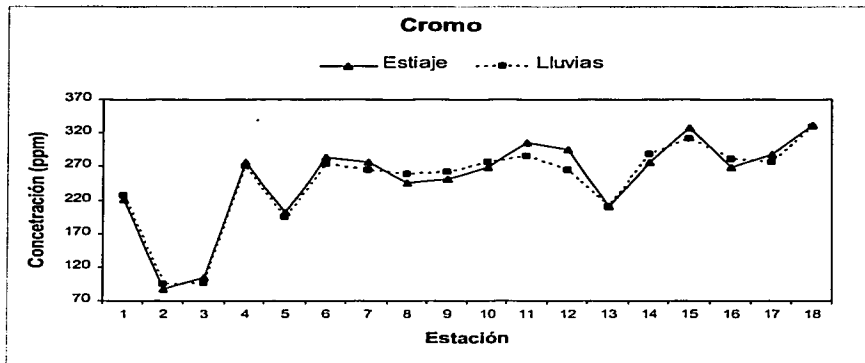


Fig. 7.3 Distribución de Cr durante las épocas de Estiaje y Lluvias.

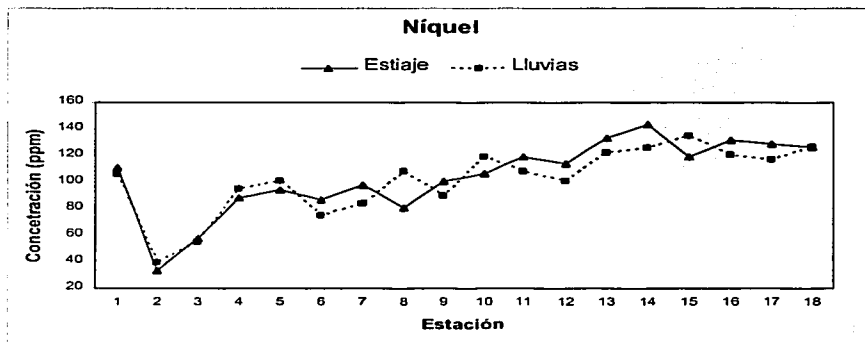


Fig. 7.4 Distribución de Ni durante las épocas de Estiaje y Lluvias.

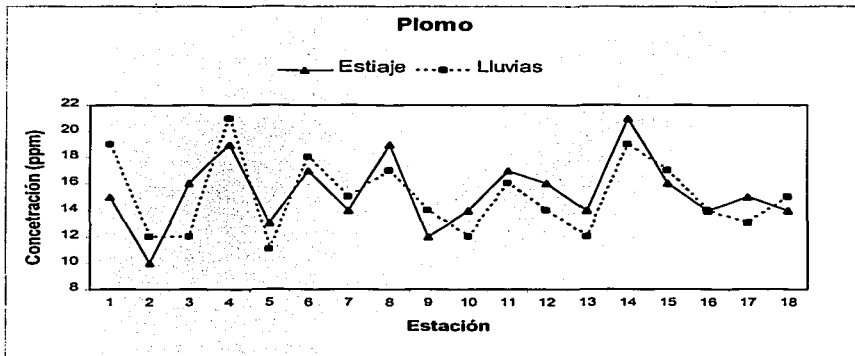


Fig. 7.5 Distribución de Pb durante las épocas de Estiaje y Lluvias.

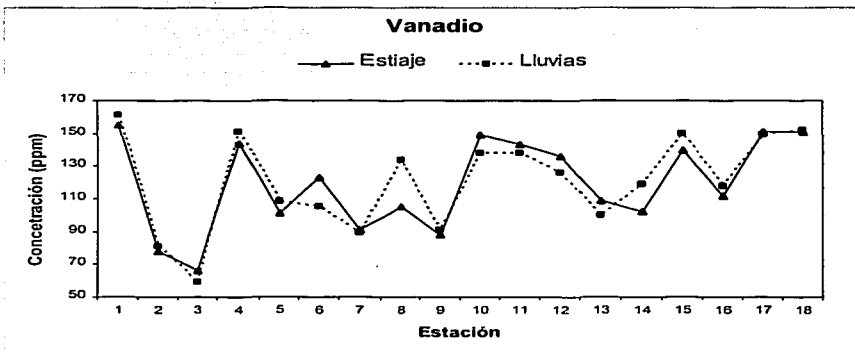


Fig. 7.6 Distribución de V durante las épocas de Estiaje y Lluvias.

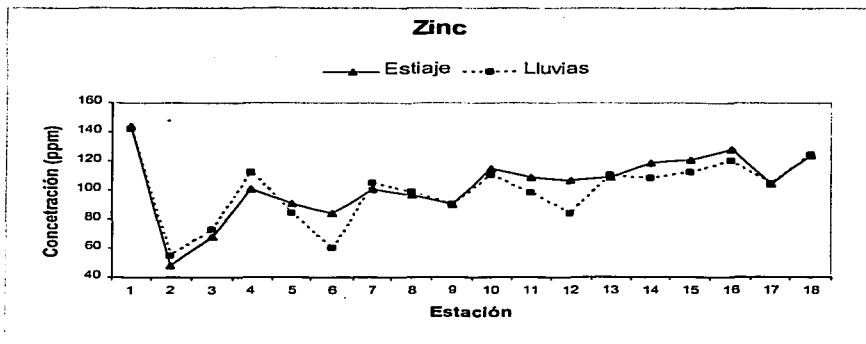


Fig. 7.7 Distribución de Zn durante las épocas de Estiaje y Lluvias.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Cobalto

La concentración de cobalto total en los sedimentos superficiales no presenta grandes diferencias entre la época de estiaje y lluvias, en ambos casos se observa una mayor concentración hacia la parte sur y este de la misma.

Se observó que en ambas estaciones del año, el valor mínimo de concentración, se encuentra en la boca de la laguna, lo cual se podría deber al intercambio de agua constante que existe entre la laguna y el mar.

Los valores máximos para estiaje y lluvias están ubicados en la zona (Fig. 11.3 y 11.4) éste de la laguna, muy cerca de la desembocadura de los ríos artificiales realizados por PEMEX, por lo cual se podría atribuir la presencia de cobalto a posibles desechos presentes en estos ríos.

La concentración máxima promedio para ambas épocas del año fue de 18 ppm, la concentración de cobalto, en general es superior a lo permitido por la NOAA, 1999 (Fig. 11.1), a excepción de una estación, lo cual nos indica una situación grave para los organismos vivos que habitan en la laguna.

Cobre

La concentración de cobre en los sedimentos de la Laguna Mecoacán presenta una distribución muy parecida para ambos muestreos (Fig. 11.5 y 11.6). Durante ambas épocas del año existe una estación con una concentración alta de cobre y corresponde a la estación 1, la cual esta ubicada cerca del las instalaciones petroleras y de los

poblados de Paraíso y Bellote, cuyas aguas residuales drenan a esa zona, lo cual puede explicar este fenómeno.

Los valores máximos de concentración para cobre están alrededor de 75 ppm, de acuerdo a la NOAA, éste valor se encuentra ligeramente por debajo del valor máximo permitido (Fig. 11.2), lo cual implica que un aumento de este metal, podría tener efectos en la fauna presente en la laguna.

Cromo

La concentración de cromo en los sedimentos, muestran una distribución heterogénea a lo largo de la laguna, sin embargo no se observan diferencias de concentración durante las dos estaciones del año analizadas (Fig. 11.5 y 11.6). Observamos que la presencia de cromo fue superior en comparación con los otros metales analizados a lo largo de toda la laguna.

En ambos muestreos las concentraciones mas bajas se ubican al norte la laguna en las estaciones 2 y 3, lo cual se puede deber a las corrientes presentes en la boca de la laguna.

En la parte del centro y sur de la laguna, las concentraciones se elevan más de 200 ppm con respecto a la zona norte, excepto en la estación 1 que presenta también una concentración elevada con respecto a las estaciones aledañas, lo cual se puede deber a que ésta estación se encuentra cerca de las instalaciones donde se realizan diversas actividades tanto de almacenamiento como de procesamiento de petróleo además de que en esta zona desembocan las aguas residuales de la zona urbana de Paraíso y Bellote.

El estado actual de la laguna, es preocupante en materia de cromo, ya que la concentración promedio supera por mucho el límite máximo permisible por la NOAA (Fig. 11.2), por lo que se espera que se tengan efectos perjudiciales en los organismos.

Níquel

La concentración de níquel presenta una distribución muy parecida a la de otros metales, es decir las concentraciones mas bajas se encuentran en las estaciones ubicadas cerca de la boca de la laguna, excepto aquella ubicada cerca de los poblados de Paraiso y Bellote, además de estar cerca de zonas donde el petróleo se manipula constantemente. La concentración de níquel se eleva gradualmente hacia la parte sur y este de la laguna.

Y al igual que otros metales, la concentración es muy superior a los límites máximos permisibles por la NOAA (Fig. 11.1), lo cual se puede deber a la presencia de fugas en las instalaciones petroleras, ya que éste es un metal asociado a la presencia de petróleo en los sedimentos.

Al igual que con otros metales, las concentraciones obtenidas para cada estación en las dos épocas del año analizadas nos indican que no se presentan diferencias considerables (Fig. 11.9 y 11.10), lo cual nos hace pensar que las corrientes y vientos de la laguna no modifican de forma importante la presencia de metales en los sedimentos a excepción de la estación 2 que es donde las corrientes marinas mantienen bajas las concentraciones de metales por las corrientes que vienen de mar. Esto nos permite pensar que factores como la salinidad, pH e incluso el potencial redox (Fig. 11.1 y 11.2), no tienen un impacto considerable quizá por la ligera diferencia que presentan, ya que la salinidad promedio en la época de lluvias, tan solo disminuyó en 1.7 UPS (unidades practicas de salinidad) y el pH promedio disminuyó de 7.43 a 7.03, este mismo fenómeno ocurrió en los demás metales analizados.

Plomo

Durante los dos muestreos efectuados en la Laguna de Mecoacán se observan las concentraciones más bajas en la boca de la laguna (Fig. 11.11 y 11.12), así como en el centro de la misma, aumentando hacia el exterior. De tal forma que las concentraciones más elevadas se ubican en la estación 14 y en la 4, para ambos muestreos.

Estas estaciones poseen una ubicación muy diferente, ya que la primera se encuentra muy cerca de la desembocadura de los ríos artificiales provenientes de PEMEX y la otra cerca de la desembocadura del desagüe de la zona urbana de Paraíso, sin embargo estas concentraciones se encuentran por debajo de lo permitido por la NOAA, lo cual indica que no hay daño en los seres vivos que habitan en la laguna (Fig. 11.1 y 11.2).

A pesar de que el plomo es un metal asociado a la presencia de petróleo en los sedimentos (Greenpeace, 1997), como habíamos pensado en el caso anterior, la concentración de todos los metales asociados al petróleo debería de ser altos, sin embargo no es el caso, lo cual puede ser debido a que hay otras fuentes de contaminación que no son las petroleras como pueden ser otras industrias o las aguas residuales que son vertidas a la laguna.

Vanadio

La distribución de concentración para ambos muestreos fue semejante, donde no se observan tendencias claras, ya que la concentración varía de forma heterogénea (Fig. 11.13 y 11.14).

Al igual que con los demás metales, las concentraciones mas bajas se ubican en la boca de la laguna. Mientras que la concentración más elevada se encontró en la zona noroeste cerca de la desembocadura de las aguas residuales de la Ciudad de Paraíso.

Las concentraciones mas elevadas se ubican tanto en la zona noroeste como o en la parte sur de la laguna, lo cual nos indica que el vanadio en los sedimentos se tiende a acumular en la parte externa de la laguna, quizá por que las zonas urbanas aledañas puedan ser los causantes de la presencia del vanadio y se tiene poca movilización del mismo.

Como sucede con otros metales, la concentración en todas las estaciones analizadas supera los límites establecidos por la NOAA (Fig. 11.2).

Zinc

En ambos muestreos se observa una distribución muy parecida (Fig. 11.15 y 11.16), donde la concentración más baja se encuentra en la estación más cercana a la boca de la laguna, mientras que la más elevada se encuentra igual en la parte norte de la misma, pero cerca del puerto de Dos Bocas y de la desembocadura de las aguas residuales de la zona urbana de Paraíso. Esto aunque sucede con la mayoría de los metales analizados, ya que nos indica que aunque en la estación 1 que es la estación más contaminada existe una salinidad muy semejante a la estación 2 que es la menos contaminada las diferencias permanecen muy grandes, quizá porque en esta zona las corrientes y vientos permiten la acumulación de sedimentos contaminados en una sola zona o bien impiden que se distribuyan en toda la laguna.

La concentración de zinc en lo que se podría considerar la parte central de la laguna es muy homogénea.

En este caso la concentración promedio y la máxima no superan los límites permisibles por la NOAA (Fig. 11.1 y 11.2).

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

IX. CONCLUSIONES:

En general se puede observar que la concentración de los metales traza en ciertas estaciones de la laguna, se encuentran por arriba de los límites permisibles, sin embargo el valor promedio de la concentración de metales traza nos indica que la concentración de cobalto, cromo, níquel y vanadio se encuentran por arriba del límite permisible por la NOAA (1999), lo cual implica que tanto los seres vivos de la laguna, como aquellos que los consumen han estado recibiendo o ingiriendo dosis elevadas de varios metales, lo cual implica una gran riesgo para la salud.

Con los estudios realizados es imposible determinar las causas que provocaron la presencia de estos metales en los sedimentos, sin embargo se puede decir que tanto las aguas residuales de la Ciudad de Paraíso, como los ríos artificiales de PEMEX, pueden contribuir grandemente en la presencia de metales traza en la laguna.

Se encontró que no existen diferencias de concentración de metales traza de acuerdo a la estación del año. Es importante destacar que incluso en la época de lluvias, donde se podría haber esperado que la concentración de metales disminuyera por los fenómenos fisicoquímicos que se llevan a cabo dentro de la laguna, esto no sucedió.

Por todo lo anterior, se puede decir, que actualmente el estado actual de la laguna es crítico, y se debería de atender evitando arrojar desechos en la laguna así como de dar tratamiento a las aguas residuales, para evitar que todos los seres vivos que habitan ahí sufran más daño del que han estado recibiendo. Además de que esto tiene y tendrá implicaciones económicas y sociales en las comunidades aledañas.

X. BIBLIOGRAFÍA:

1. **ÁLVAREZ, M., 1949.** "Unidades tectónicas de la República mexicana." Sociedad Geológica Mexicana., México. 14 pp.
2. **AGUILERA, G., F. A., 1977.** "Contribución al conocimiento hidrológico de la laguna Mecoacán, Puerto Ceiba, Tabasco." Tesis Profesional, UABC. 83 pp.
3. **ALDECO, J. Y SALAS, DE L.D., 1994.** "Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano: Física." En: De la Lanza E.G. y Cáceres M.C. (Ed). Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano, Universidad Autónoma de Baja California Sur. 673 pp.
4. **BARNES, R., 1980.** "Coastal Lagoons." USA. 106 pp.
5. **BAKER, L., 1996.** "Environmental Chemistry of Lakes and Reservoirs." American Chemical Society., USA. 627 pp.
6. **CARRANZA, E., GUTIÉRREZ M. y RODRÍGUEZ R. 1975.** "Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicana." An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 2 pp.
7. **CENTRO DE ECODesarrollo. 1981.** "Las Lagunas Costeras de Tabasco: un ecosistema en peligro." México. 109 pp.
8. **CONTRERAS, E.F., 1985.** "Las Lagunas Costeras Mexicanas." Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca, México. 253 pp.
9. **DE LA LANZA, G. 1991.** "Oceanografía de Mares Mexicanos." A.G.T. Editor, S.A. México. 569 pp.
10. **FOULKES, E. 1989.** "Biological Effects of Heavy Metals." Vol. I y II, CRC Press. USA. 189 pp.

11. FREDERICK, W., 1978. "Toxicity of Metals in the Environment." Parte I y II., Dekker editor. USA. 472 pp.
12. GALAVIZ, S., A., M. GUTIÉRREZ E. Y A. CASTRO, R., 1987. "Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco, México." An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 12 pp.
13. GARCÍA CUBAS, A., F. ESCOBAR, L., L. V. GONZÁLEZ, A. y M. REGUERO, 1990. "Moluscos de la laguna Mecoacán, Tabasco, México: Sistemática y ecología." An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol, UNAM. 30 pp.
14. GÓMEZ ANGULO, H., 1977. "Determinación de corrientes en la laguna costera Mecoacán de Tabasco, México." An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol, UNAM. 80 pp.
15. GONZÁLEZ ANIA, L. V., 1981. "Estudio prospectivo de los moluscos de la laguna costera Mecoacán, Tabasco, México." Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. 90 pp.
16. HUERTA, M. 1975. "Comportamiento geoquímica de metales en sedimentos, material particulado suspendido y organismos bioindicadores de contaminación en la costa occidental del Golfo de California." SIMAC. 13 pp.
17. INMAN, D., y NORDSTROM, C., 1971. "On the tectonic and morphologic clasification of coasts." Jour. Geol. USA. 79 pp.
18. LANKFORD, R. 1977. "Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification." Academia Press Inc. USA. 182 pp.
19. LIZASOAIN, G. LIZASOAIN, W. ALIOTTA, S. 1991. "Sedimentología y Paleocambientes Cuaternarios en el sector Interno del Estuario de Bahía Blanca, Argentina." An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol, UNAM. México. 8 pp.
20. MARGALEF, R. 1986. "Limnología." Omega. Barcelona. 1010 pp.

21. MILLERO, F. y SHON, M., 1992. "Chemical Oceanography." N.W., Florida USA. 531 pp.
22. NIRAGU, J. KAFERENZEN, D., 1984. "Changing Metal Cycles and Human Health." USA. 87 pp.
23. NOAA., 1999. "NOAA Screening Quick Reference Tables". USA. National Oceanic and Atmospheric Administration. 12 pp.
24. PÁEZ-OSUNA, F. y OSUNA-LOPEZ, J., 1990. "Heavy Metals Distribution in Geochemical Fractions of Surface Sediments From the lower Gulf of California." An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol, UNAM. 79 pp.
25. PSUTY, N., 1937. "The geomorphology of beach ridges in Tabasco México." USA. 51 pp.
26. RILEY, J y CHESTER, R. 1989. "Introducción a la Química Marina." AGT EDITOR, S.A. México. 384pp.
27. SALAS, R. 1986. "Estudio Hidrológico y nivel de alteración causado por organoclorados en las Lagunas de Mecoacán y Carmen-Machona, Tabasco, México." Tesis Prof. ENEP Zaragoza. 35 pp.
28. SANCHEZ, M., 1989. "Determinación de Metales Traza en Agua de Mar por Espectrofotometría de Absorción Atómica." Tesis UNAM. México. 68 pp.
29. SCHEINER, B., DOYLE, F y KAWATRA, S., 1989. "Biotechnology in Minerals and Metal processing." Society of Minion Engineers, inc., Littleton. 209 pp.
30. TANNER, W. y STAPR, F., 1971. "Tabasco, an eroding coast." Geological Society., USA. 231 pp.
31. THOM, B., 1967. "Mangrove ecology and deltaic geomorphology." México. 55 pp.
32. TESSIER, A., CAMPBELL, P. y BISSON, M., 1979. "Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals." Anal. Chem. pp. 844.

33. VÁZQUEZ, F. 1994. "El sistema lagunar El Carmen-Pajonal-La Machona del Estado de Tabasco: su hidrodinámica, la estabilidad de sus bocas y de su línea de costa." UNAM, México. 131 pp.

34. WETZEL, R. 2001. "Limnology: lake and river ecosystems." 3ra. Edición, Academic Press, San Diego. 210 pp.

CONSULTAS EN INTERNET:

35. GREENPEACE, 1997. "La ruta del petróleo. Lagunas costeras: historia de un ecocidio." Dirección electrónica: <http://www.laneta.apc.org/emis/gpeace/rutaoil.htm>. 10 pp.

36. VALDÉS LOZANO, D., 2000. "Mecoacán lagoon." Dirección electrónica: <http://data.ecology.su.se/mnode/mexicanlagoons/mecoacan/mecoacán.htm>. 3 pp.

37. VILLANUEVA, S. PÁEZ, F. 1998., "Al Rescate del Golfo de México. Los Metales." Ecológica. Dirección electrónica: <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/98/0398golf4.html>

ANEXOS:

Tabla 11.2. Parámetros fisicoquímicos durante la época de lluvias.

	Latitud	Longitud	mec 2	temp	salinidad	ph	z
1	18° 26.217'	93° 09.657'	1	28.12	33.6	7.33	0.7
2	18° 26.405'	93° 08.510'	2	27.3	31.8	7.09	2.8
3	18° 26.077'	93° 07.896'	3	30.16	20.7	7.29	1.1
4	18° 25.549'	93° 08.854'	4	29.3	22.3	---	0.6
5	18° 24.123'	93° 09.705'	5	29.67	19.4	7.11	1.1
6	18° 23.166'	93° 06.611'	6	29.75	19.4	7.01	1
7	18° 22.629'	93° 09.680'	7	29.92	19.7	6.81	0.8
8	18° 22.845'	93° 08.504'	8	30.1	19.6	7	1.5
9	18° 23.519'	93° 08.545'	9	29.47	19.7	6.73	1.3
10	18° 24.559'	93° 08.558'	10	30.04	18.5	6.9	1.8
11	18° 24.494'	93° 06.791'	11	30.26	14.2	6.75	0.9
12	18° 23.515'	93° 06.753'	12	30.75	17.5	7.18	1.2
13	18° 22.892'	93° 06.861'	13	31.16	18.4	7.1	1
14	18° 23.531'	93° 05.114'	14	30.01	10.9	7.02	1.2
15	18° 22.865'	93° 04.888'	15	31.46	12	6.97	1.1
16	18° 22.248'	93° 06.296'	16	31.34	11.9	7.02	0.9
17	18° 21.849'	93° 06.707'	17	31.22	11.9	7.78	1.1
18	18° 26.217'	93° 09.657'	18	30.94	11.4	7.03	1.3

val max	32.33	33.6	7.33
val min	27.3	10.9	6.73
prom	29.81	22.25	7.03
	°C	UPS	m

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 11.1. Parámetros fisicoquímicos durante la época de estiaje.

	Latitud	Longitud	mec l	temp.	salinidad	pH	z
1	18° 26.217'	93° 09.657'	1	23.07	35	7.76	0.7
2	18° 26.405'	93° 08.510'	2	23.4	34.4	—	2.7
3	18° 26.077'	93° 07.896'	3	23.22	34.3	7.34	1.7
4	18° 25.549'	93° 08.854'	4	25.39	26.6	7.2	1.8
5	18° 24.123'	93° 09.705'	5	27.87	24.8	7.38	0.8
6	18° 23.166'	93° 06.611'	6	29.34	25.5	7.36	1.2
7	18° 22.629'	93° 09.680'	7	27.02	22.9	7.41	1.1
8	18° 22.845'	93° 08.504'	8	28.46	26.2	—	1.6
9	18° 23.519'	93° 08.545'	9	28.57	25.4	7.76	1.5
10	18° 24.559'	93° 08.558'	10	28.17	24.1	7.28	1.2
11	18° 24.494'	93° 06.791'	11	28.65	19.1	7.24	1.5
12	18° 23.515'	93° 06.753'	12	29.93	24.3	7.27	1.2
13	18° 22.892'	93° 06.861'	13	28.68	25.5	7.18	1.4
14	18° 23.531'	93° 05.114'	15	28.05	17.8	7.34	1.1
15	18° 22.865'	93° 04.888'	16	27.8	18.7	7.19	1.5
16	18° 22.248'	93° 06.296'	17	27.34	16.5	7.1	0.8
17	18° 21.849'	93° 06.707'	18	27.82	16.5	7.25	1.1
18	18° 26.217'	93° 09.657'	19	27.82	16.5	7.25	0.8

val max	29.93	35	7.76
val min	23.07	12.9	7.1
prom	26.5	23.95	7.43

°C	UPS	m
----	-----	---

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

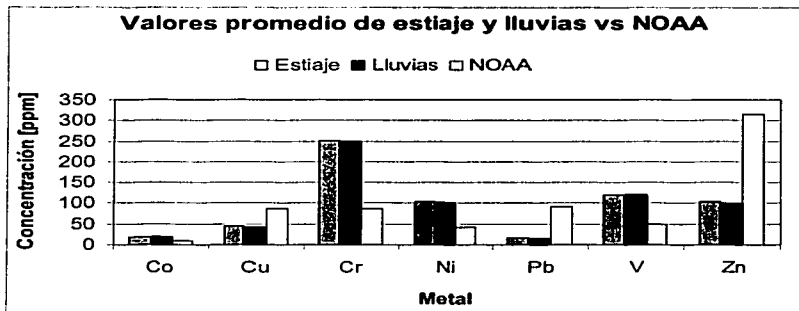


Figura 11.1. Valores promedio de concentración (ppm) de estiaje y lluvias vs. NOAA (1999)

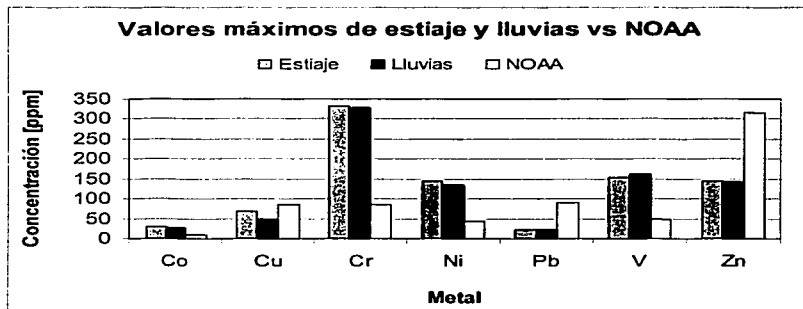


Figura 11.2. Valores máximos de concentración (ppm) de estiaje y lluvias vs. NOAA (1999)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cobalto Estiaje

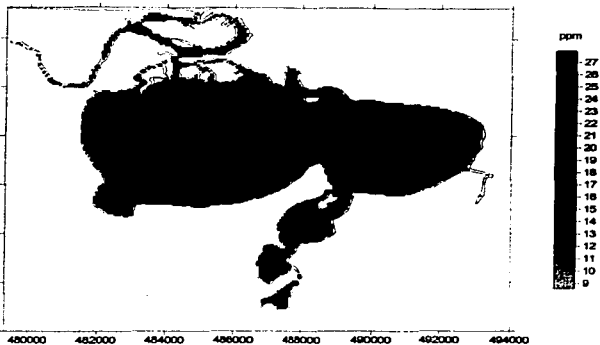


Figura. 11.3. Distribución espacio-temporal durante la época de estiaje.

Cobalto lluvias



Figura. 11.4. Distribución espacio-temporal durante la época de lluvias.

TEJES CON
FALSA DE ORIGEN

Cromo Estiaje

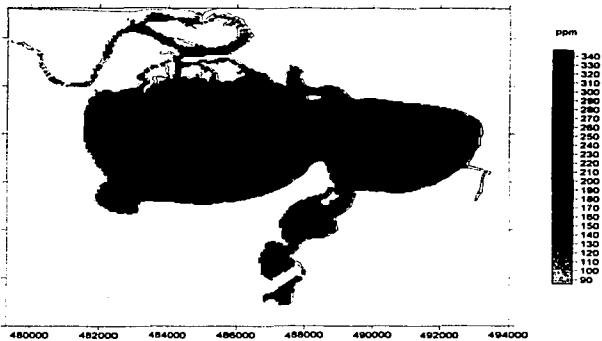


Figura. 11.5. Distribución espacio-temporal durante la época de estiaje.

Cromo Lluvias



Figura. 11.6. Distribución espacio-temporal durante la época de lluvias.

TEBIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cobre Estiaje

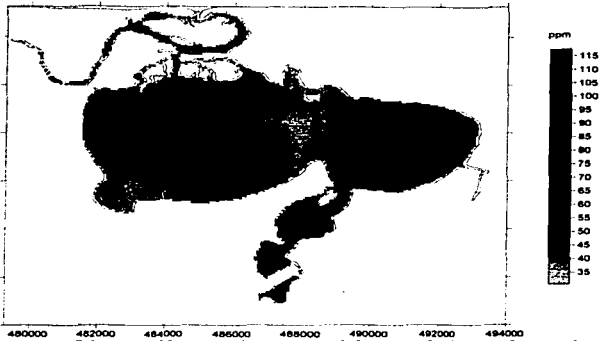


Figura. 11.7. Distribución espacio-temporal durante la época de estiaje.

Cobre llluvias



Figura. 11.8. Distribución espacio-temporal durante la época de lluvias.

TESIS CON
FALSA DE ORIGEN

Níquel Estiaje

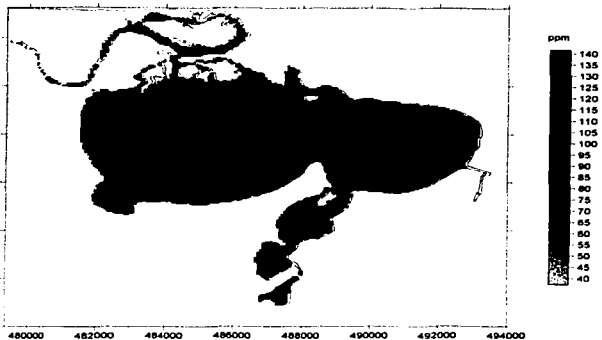


Figura. 11.9. Distribución espacio-temporal durante la época de estiaje.

Níquel Lluvias



Figura. 11.10. Distribución espacio-temporal durante la época de lluvias.

SEÑAL CON
FALTA DE ORIGEN

42

Plomo Estiaje

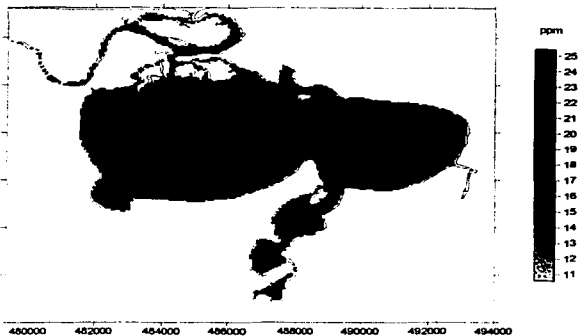


Figura. 11.11. Distribución espacio-temporal durante la época de estiaje.

Plomo Lluvias

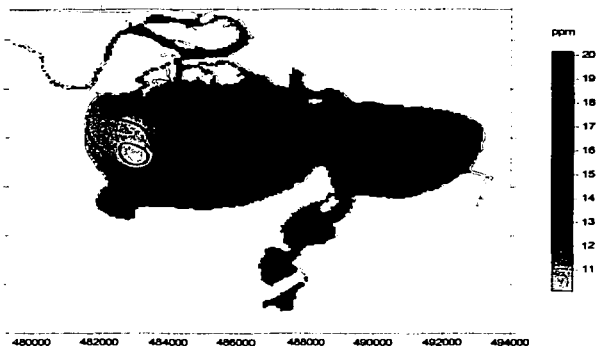


Figura. 11.12. Distribución espacio-temporal durante la época de lluvias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Vanadio Estiaje

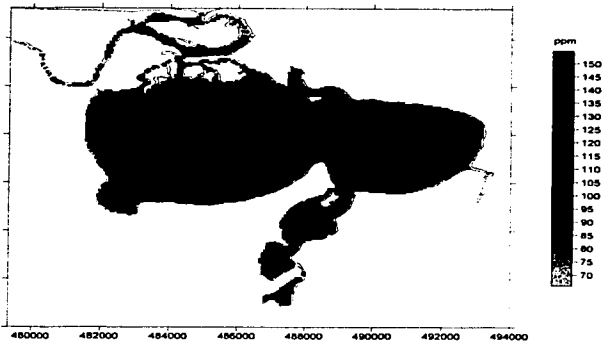


Figura. 11.13. Distribución espacio-temporal durante la época de estiaje.

Vanadio Lluvias

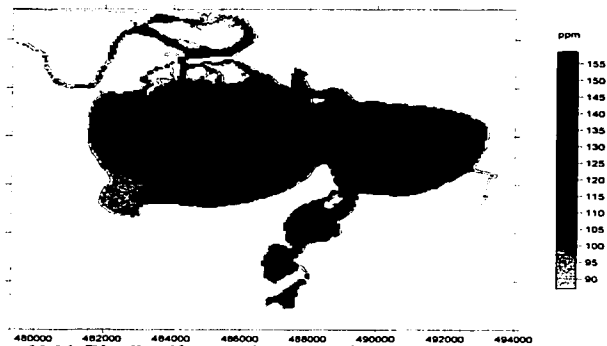


Figura. 11.14. Distribución espacio-temporal durante la época de lluvias.

TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

Zinc Estiaje

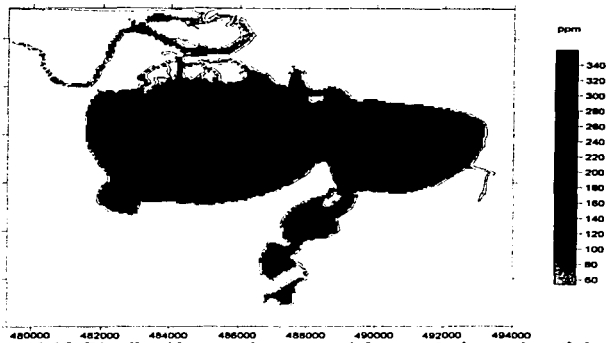


Figura. 11.15. Distribución espacio-temporal durante la época de estiaje.

Zinc Lluvias



Figura. 11.16. Distribución espacio-temporal durante la época de lluvias.

TESIS CON
FALSA DE ORIGEN