

154
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA...
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
BIOLOGIA

EVALUACION DE METALES EN SEDIMENTOS, AGUA Y BIOTA DE LAS LAGUNAS SALADA, EL LLANO Y LA MANCHA VERACRUZ, MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A :

ANA PATRICIA RODRIGUEZ CASTAÑEDA

MEXICO, D. F.



1994

FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alfonso Vázquez Botello por permitirme participar en este proyecto, por todo su apoyo y principalmente por dirigir este trabajo.

A la bióloga Susana Villanueva Fragoso por todas sus enseñanzas y paciencia al codirigir este trabajo y por su amistad.

A la Dra. Sonia Espina por su ayuda en la elaboración de los polígonos iónicos y por todas sus sugerencias para mejorar el presente trabajo.

A los integrantes del sínodo, Dra. Sonia Espina Aguilera, Dra. Guillermina Alcaráz Zubeldía, Dr. Alberto Sánchez Martínez y Bióloga Susana Villanueva Fragoso por su paciencia en la revisión de este trabajo.

Al M en C. Raymundo Lecuanda y al personal del laboratorio de sedimentología del ICMYL por su ayuda en el análisis granulométrico.

A la Bióloga Aurora González Fierro por su ayuda en los análisis complementarios, por su compañerismo y gran amistad.

Al personal del campamento "El Farallón" de la Comisión Federal de Electricidad, en especial a la M. en C. Sonia Salazar y a los colaboradores del departamento de muestreo, por toda la ayuda brindada durante las colectas.

A las compañeras del laboratorio de Contaminación Marina, Lupita, Nery, Lucy, Laura, Lety y al Dr. Gilberto Díaz por su estímulo constante, simpatía y amistad.

A la Comisión Federal de Electricidad por el financiamiento otorgado para el proyecto del cual se desprende esta tesis.

A MI MADRE

Marisela Castañeda Hernández

Por su amor incondicional que me ha permitido ser auténtica.

A MI PADRE

Manuel Rodríguez Gómez

Por su estímulo y apoyo constantes para llegar a esta meta y hacer siempre mi vida más placentera.

A MI HERMANO ARTURO

Por todo su cariño y deseando que ésto sea un estímulo para continuar.

A DANIEL

Por compartir conmigo lo mejor de la vida... EL AMOR

CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	1
1.1. GENERALIDADES.....	4
1.1.1. Metales no esenciales.....	7
1.1.2. Metales esenciales.....	10
1.2. ANTECEDENTES.....	11
1.3. OBJETIVOS.....	12
2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	14
2.1. LAGUNA SALADA.....	14
2.2. LAGUNA EL LLANO.....	17
2.3. LAGUNA LA MANCHA.....	18
3. METODO.....	22
3.1. METALES.....	23
3.1.1. Metales totales en sedimentos.....	23
3.1.2. Metales biodisponibles en sedimentos.....	24
3.1.3. Metales en agua.....	24
3.1.4. Metales en biota.....	25
3.2. ANALISIS COMPLEMENTARIOS.....	26
3.2.1. Materia orgánica.....	26
3.2.2. Carbonatos.....	26
3.2.3. Granulometría.....	26
3.3. ANALISIS ESTADISTICOS.....	27
4. RESULTADOS.....	29
4.1. LAGUNA SALADA.....	29
4.2. LAGUNA EL LLANO.....	32
4.3. LAGUNA LA MANCHA.....	35
4.4. LAGUNA MANDINGA.....	39

5. DISCUSION.....	40
5.1. LAGUNA SALADA.....	40
5.2. LAGUNA EL LLANO.....	51
5.3. LAGUNA LA MANCHA.....	63
5.4. GENERAL.....	75
6. CONCLUSIONES.....	87
7. LITERATURA CITADA.....	89

RESUMEN

En este trabajo se evaluaron las concentraciones de los metales Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Co, Pb, Cr y Cd en sedimentos, agua y biota (moluscos, crustáceos y pastos) de las lagunas Salada, El Llano y La Mancha, que se localizan en el litoral costero del estado de Veracruz. Los resultados mostraron que la secuencia de abundancia de los metales en sedimentos de las tres lagunas se presentó con una distribución muy similar, a diferencia de la concentración de cada metal, ya que tienen un comportamiento distinto en cada una de ellas. Las concentraciones registradas en agua tuvieron un patrón semejante en las tres lagunas, lo que está influido por las pequeñas cantidades detectadas en ellas. Los organismos presentaron la siguiente secuencia en la acumulación de los metales analizados : moluscos > pastos > crustáceos. Las concentraciones detectadas en biota, en general, sobrepasaron los límites permitidos por las diferentes agencias internacionales; lo que está en relación con el hecho de que la comparación de los resultados de las tres lagunas, con las concentraciones obtenidas en la laguna Mandinga, y con los registros de otras áreas del Golfo de México y del mundo, indicó que las tres lagunas presentan un impacto significativo tanto de metales tóxicos como esenciales, ya que las concentraciones registradas se encuentran en intervalos similares al de regiones ya impactadas.



1. INTRODUCCION

México tiene 9.903 km de litoral, por lo que la zona costera adquiere una gran relevancia, ya que además de los energéticos y recursos minerales que posee, representa una importante fuente de alimentos. Del 30 al 35 % del litoral está constituido por lagunas costeras y estuarios, tanto en el Pacífico como en el Golfo de México y el Caribe (Yañez-Arancibia, 1986).

Los sistemas acuáticos costeros, son lugares de interés por su intensa actividad biológica; constituyen ecosistemas de alta productividad ya que en ellas convergen una biota permanente y otra inmigrante, que provienen tanto de las corrientes continentales, como de la zona marina. Algunas especies pueden satisfacer requerimientos diversos durante ciertas etapas de su ciclo de vida. Con respecto a los peces, por ejemplo, en éstas aguas tiene lugar aproximadamente el 90 % de la captura mundial de peces (Botello, 1987).

Debido a que el mar es considerado equivocadamente con un alto poder de disolución y que las sustancias nocivas no se mezclan homogéneamente, sino que permanecen concentradas en áreas limitadas o incluso pueden ser reconcentradas por los seres vivos, existe la contaminación.

En la actualidad los sistemas litorales del país presentan problemas de transformación y contaminación, ocasionadas por el

crecimiento industrial y urbano, por el represamiento de los ríos, el cierre de las comunicaciones entre las lagunas y el mar, el drenaje de las tierras de cultivo y el desecho de distintos tipos de residuos, entre los que se encuentran los metales.

Aunque en el medio marino se encuentran prácticamente todos los metales en forma natural (Waldichuk, 1974) y casi todos son bioacumulados en uno o más componentes de la cadena alimentaria; éstos no son transformados ni destruidos y pueden combinarse formando diversos compuestos y complejos (Waldichuk, 1977). Una contaminación evidente por metales, se produce en las lagunas costeras, en las cuales estos elementos se introducen principalmente por alcantarillas industriales, por desechos pluviales y fluviales y por descargas directas llevándose a cabo una mezcla y acumulación. Los metales son rápidamente eliminados de la columna de agua hacia los sedimentos subyacentes en la fase sólida biológica e inorgánica. Iniciándose ahí la penetración de estos elementos hacia los tejidos vegetales y animales (Botello, 1963).

De la transferencia de los metales pesados de los ríos a los océanos, sólo una fracción pequeña abandona la zona costera (Turekian, 1971) y muchos de ellos quedan almacenados en los sedimentos, en donde las concentraciones son más fácilmente medibles que en los niveles disueltos en la columna de agua (Mandelli, 1979).

Además de la carga contaminante, el tamaño y el tipo de partícula sedimentaria es otro factor importante que afecta las concentraciones de los metales en los sedimentos, las cuales se relacionan inversamente con las concentraciones del metal. De una manera general se presentan valores altos en los ecosistemas lagunares - estuarinos ya que son más sensibles de ser impactadas por la naturaleza de sus sedimentos que son de grano fino, como los limos y arcillas (Smith et al., 1972; De Groot, 1977; Gibbs, 1977).

Por su dinámica las zonas costeras son áreas muy propicias para la acumulación de metales; aunado a esto está el largo tiempo de resistencia de los productos químicos, lo que puede conducir a la formación de un medio tóxico. Esta toxicidad puede llegar a niveles tales, que la exposición de los organismos a ellas puede producir altos porcentajes de morbilidad o mortalidad.

Los efectos reales que puede provocar la descarga de elementos metálicos, a corto o largo plazo son muy difíciles de predecir ya que aún hay muchas dudas sobre los factores que regulan su destino en los océanos (Huntzicker, 1975); sin embargo se han observado repercusiones sobre las pesquerías, como la disminución de las capturas y pérdida de mercados; se puede suponer que la contaminación crónica por estos elementos, puedan llegar a causar un severo impacto ecológico, con serias consecuencias para los organismos acuáticos.

1.1. GENERALIDADES

Los metales pesados son aquellos que en su forma elemental tienen pesos específicos mayores de cinco. En ausencia de aportes humanos, los procesos de "meteorización" y de "vulcanismo" son las principales vías de entrada de los metales traza de los continentes hacia los océanos, dando como resultado el "baseline" o contenido natural de los metales traza en éstos (Smith, 1985). Dichos aportes aumentan enormemente al incluir la "acción antropogénica".

Los materiales continentales son transportados a los océanos por vientos, glaciares y ríos; en éstos últimos se han identificado cinco mecanismos de transporte de los metales pesados : a) En disolución, b) Absorbidos en sólidos inorgánicos, c) Como recubrimientos metálicos sólidos, d) En sólidos orgánicos y e) En materiales cristalinos de origen detrítico (Gibbs, 1973).

La mayoría de los elementos metálicos tienen una solubilidad muy limitada en un medio alcalino como es el agua de mar; por lo tanto, tienden a separarse de ella, principalmente a través de reacciones inorgánicas de oxidación, formando óxidos e hidróxidos insolubles, depositándose en el fondo marino a modo de diminutas partículas y costras sobre cualquier tipo de material sólido que se encuentre en el fondo. Ciertos metales pueden también ser separados del agua por organismos vivientes, tanto planctónicos como bentónicos. Al morir estos organismos, los metales quedan liberados en la interfase agua-sedimento y después son

incorporados a los sedimentos (Barron, 1990).

Los metales tienden a acumularse en los sedimentos, donde experimentan procesos de adsorción, absorción, precipitación, floculación coloidal, especiación, removilización y fijación biológica activa o pasiva e incorporación a las cadenas tróficas (Katz and Kaplan, 1981; González *et al.*, 1985; Champoux *et al.*, 1988; Callister and Winfrey, 1988). Un problema importante que presentan los contaminantes metálicos es su alta persistencia en el ambiente. Los metales no pueden degradarse ni biológica ni químicamente en la naturaleza. Sus compuestos pueden alterarse, pero el contaminante metálico permanece.

Por otra parte, Romeril (1971) 'resumió los mecanismos mediante los cuales se lleva a cabo la acumulación en los organismos de los contaminantes, especialmente de los metales en el siguiente orden: 1) Absorción por procesos activos o pasivos de difusión de los iones metálicos del agua de los fluidos orgánicos a través de membranas semipermeables y 2) Ingestión de los iones en el alimento o en combinación con materiales en suspensión y posterior absorción a través de las paredes intestinales.

Dichos mecanismos permiten que la concentración de los metales en los seres vivos sea superior a lo que pueden metabolizar; este fenómeno se conoce como bioacumulación. Como resultado los tejidos del organismo presentan concentraciones superiores a las del medio donde se desarrollan.

Bryan (1971) por su parte, propuso dos mecanismos para la

excreción de los metales acumulados en los organismos: 1) Excreción a través de la superficie del cuerpo y 2) Excreción con los desechos fecales y orina.

Algunos metales son esenciales para los seres vivos, pero al aumentar las concentraciones naturales o al modificarse su forma química pueden llegar a ser tóxicos, como el Cu, Co, Cr y Fe; otros son potencialmente tóxicos en ciertas formas químicas y en concentraciones específicas como el Pb, Hg y Cd (Mandelli, 1978).

Los iones metálicos utilizados en los sistemas biológicos se caracterizan por ser relativamente abundantes en la naturaleza y estar disponibles como especies solubles. Además de la disponibilidad del metal para los organismos, la toxicidad de estos depende también de otros factores como la presencia de otros metales que ocasionen un sinergismo o antagonismo en su efecto, especiación química, factores físico-químicos del agua como la temperatura, potencial redox, pH, oxígeno disuelto, salinidad, luz, materia orgánica y los factores biológicos como son la especie, el sexo, tamaño, edad, actividad y estadio de vida, entre otros (Forstner and Wittman, 1979).

Los elementos tóxicos más importantes en términos de su efecto sobre los sistemas biológicos naturales del medio acuático son el Hg, Cu, Pb, Cd, Zn, Ni y el As (Forstner and Wittman, 1979).

1.1.1. METALES NO ESENCIALES

CADMIO

El cadmio es un elemento cuyas propiedades químicas son intermedias entre el zinc y el mercurio. En ambientes dulceacuícolas, está íntimamente asociado con la materia coloidal como CdCl_2 y CdSO_4 . En el mar el 66% está presente como ión Cd junto con CdCO_3 (26%), Cd(OH) (5%), CdCl_2 (1%) y CdSO_4 (1%) (Whitfield et al., 1981). En aguas costeras y estuarinas una alta proporción de este metal se encuentra asociado a partículas, formando complejos (MacKay, 1983). Las principales fuentes de cadmio en ambientes acuáticos son debidas al lavado de los suelos agrícolas y las descargas de la minería y de la industria. Otro origen importante son los desechos municipales y los lodos de las plantas de tratamiento (GESAMP, 1985). Su presencia en ambientes marinos disminuye la capacidad de sobrevivencia de las larvas y los estadios juveniles de peces, moluscos y crustáceos (Forstner and Wittman 1979). El cadmio posee una amplia toxicidad para todas las formas de vida, pudiendo ocasionar en el hombre daños en el sistema digestivo, en el sistema renal y en los huesos donde provoca descalcificación y lesiones en la médula ósea. Esta enfermedad se conoce como "Itai-Itai". Además, el cadmio puede inclusive inhibir ciertos sistemas enzimáticos. Cuando se inhala, sus vapores producen severas lesiones pulmonares. Este metal es desechado por algunas fábricas de recubrimientos metálicos, de baterías, de ciertos plásticos, así como en la producción de plomo y zinc.

PLOMO

Este es un metal que se presenta en dos estados de oxidación Pb^2 y Pb^4 , el primero es el que predomina en el ambiente acuático. En el agua de mar se encuentra como $PbCl_2$ (43%), $PbCO_3$ (42%) y $Pb(OH)_2$ (9%) (Whitfield *et al.* 1981), asimismo en condiciones anaeróbicas en los sedimentos marinos, se encuentra en algunos compuestos sulfurosos.

En el agua de los ríos hay especies químicas muy poco solubles junto con algunos complejos como ácidos orgánicos, aminoácidos y partículas coloidales combinadas con péptidos, proteínas y otras macromoléculas. La concentración de plomo en los sedimentos de los ríos se encuentra en un intervalo de 10 $\mu g/g$ a 500 $\mu g/g$ en aquellos ríos que atraviesan áreas industrializadas y densamente pobladas (Nriagu and Coker 1980). De igual manera, los niveles de plomo aumentan en sitios donde hay descargas de lodos de plantas de tratamiento, dragado de puertos y canales de navegación o por el derrame de desechos industriales a ríos, estuarios y lagunas costeras (Nelmes *et al.*, 1974; Stanford *et al.*, 1981).

El plomo es tóxico para el plancton y demás organismos acuáticos, en algunos de ellos afecta la permeabilidad de las gónadas y producen trastornos en las células cerebrales, destruyendo éstos tejidos; también afecta el sistema nervioso central y en la actividad de enzimas de la sangre (Stofen, 1974). En los peces se supone que puede provocar distrofia muscular y

trastornos neuromusculares, disminución en la velocidad de crecimiento, retraso en la maduración sexual y efectos secundarios de inanición. El plomo es conocido como veneno para el humano desde hace mucho tiempo, debido a que al absorberse provoca alteraciones hematológicas. Además, en ciertos niveles produce el saturnismo, enfermedad que engloba trastornos nerviosos, digestivos y renales (Coenen *et al.*, 1972).

El plomo es vertido por diferentes fuentes, tales como ciertas fábricas de pintura, de acumuladores y de las industrias químicas que producen el antidetonante, tetraetilo de plomo (Villanueva *et al.*, 1992).

CROMO

El cromo se considera un metal esencial para los organismos cuando se encuentra en bajas concentraciones, siendo muy tóxico al aumentar éstas; por lo que en éste trabajo se considerará como un metal no esencial. La forma de cromo VI es cien veces más tóxica, por su solubilidad y fácil penetración al interior de las células, que las sales de cromo III, las cuales son insolubles y de difícil ingreso. El cromo provoca daños a las membranas mucosas, cáncer en los pulmones y úlcera (National Academy of Sciences 1974; Rosas *et al.* 1989). En los ríos y océanos, se encuentra principalmente formando complejos, en concentraciones que van de 1 a 1.5 ug/l. En aguas marinas el cromo existe formando parte de los nódulos de manganeso (Riley and Chester 1971). En los sedimentos costeros las concentraciones promedio son aproximadamente de 100 ug/g, las cuales decrecen en zonas

oceánicas profundas, para el oceano Atlántico se mencionan concentraciones de 80 ug/g y de 77 ug/g para el Pacifico (Riley and Chester 1971). En ambientes costeros se asocia a desechos industriales, desechos de minería, tenería y galvanoplastia, así como a los de las industria de fertilizantes (Villanueva et al., 1992).

1.1.2. METALES ESENCIALES

COBRE

El cobre se encuentra presente en los seres vivos; actuando a nivel enzimático y en el metabolismo general. La toxicidad en los animales depende de interacciones con otros elementos traza como son el molibdeno y el zinc. La ingestión excesiva ocasiona acumulación en el hígado y aunque no produce efectos muy bien definidos, se han observado dermatitis, irritaciones en los ojos y del sistema respiratorio (Underwood, 1971).

ZINC

Es un elemento que se encuentra en abundancia en los seres vivos. Es generalmente de baja toxicidad a la vida acuática, aunque algunas especies son sensibles a bajas concentraciones de zinc. En animales y el hombre el zinc es un componente estructural y funcional de la enzima carboxipeptidasa y está relacionada con el metabolismo de carbohidratos y proteínas (Harper, 1971), por lo que el metabolismo humano puede ser afectado principalmente en el balance mineral y enzimático, especialmente en niños y pacientes que sufren de metabolismo

irregular. Las emanaciones de zinc de la atmósfera pueden ocasionar daño a los pulmones (Schoroeder *et al.*, 1967).

COBALTO Y NIQUEL

Son elementos esenciales para el metabolismo en los seres vivos y al parecer no tienen efectos tóxicos en el ambiente acuático. En los humanos, el contacto con el Ni puede ocasionar dermatitis y cáncer en nariz y pulmones.

FIERRO Y MANGANESO

Son de los metales más abundantes en la naturaleza. En las plantas el fierro es esencial para la fotosíntesis (Machold and Scholz, 1972) y en los animales, se encuentra en las proteínas (Underwood, 1971). El manganeso en plantas y animales es un activador enzimático. En general, estos elementos no parecen ser tóxicos, aunque en altas dosis pueden llegar a producir efectos adversos (Underwood, 1971).

1.2. ANTECEDENTES

El conocimiento en las áreas de estudio de lo referente a metales es muy limitado, puesto que de la Laguna La Mancha sólo se conoce un trabajo realizado por Albert y Luna (1987), el cual se enfoca en las relaciones entre las concentraciones de metales con las variaciones de la población ostrícola, con el fin de predecir el impacto de estos contaminantes en los organismos del medio acuático.

En cuanto a las Lagunas Salada y El Llano se carece de información relacionada a metales.

En relación a las técnicas empleadas en el presente trabajo, han sido utilizadas para cuantificar metales en sedimentos de la Laguna de Términos, Campeche y en sistemas costeros del Caribe Occidental (Botello, 1987 y 1989). Además, se han utilizado en ejercicios de intercalibración del Internacional Laboratory of Marine Radioactivity de Mónaco para metales en sedimentos pelágicos y biota marina del Mar Mediterráneo (Botello, 1989).

Dada la escasez de estudios referida anteriormente es propósito del presente estudio ampliar los conocimientos existentes en cuanto a las concentraciones de metales en las lagunas costeras de México y sentar las bases para una futura evaluación general de los ciclos biogeoquímicos, así como para tener el registro en un periodo de tiempo, lo cual ayudaría a observar la tendencia de la contaminación y futuros impactos causados por metales. Todo esto aumentaría la posibilidad de tomar acciones más efectivas para preservar los ecosistemas costeros. Por lo tanto se consideraron los siguientes objetivos :

1.3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las concentraciones de metales (Cd, Cr, Pb, Zn, Co, Cu, Mn, Ni y Fe) en sedimentos, agua y organismos de las Lagunas Salada, El Llano y La Mancha en el estado de Veracruz.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Relacionar las concentraciones de metales en sedimentos de las tres lagunas con los porcentajes de materia orgánica y carbonatos respectivamente.

2. Relacionar las concentraciones de metales con la granulometría respectiva de las tres lagunas.

3. Comparar las concentraciones de los diferentes metales en sedimentos, agua y organismos.

4. Comparar las concentraciones de metales obtenidas, entre las tres lagunas evaluadas.

5. Comparar las concentraciones obtenidas en las lagunas Salada, El Llano y La Mancha con la Laguna de Mandinga principalmente, además de con otras zonas del Golfo de México y diferentes áreas del mundo.

6. Comparar las concentraciones de los metales evaluados, entre los diferentes organismos analizados.

2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

Las lagunas Salada, El Llano y La Mancha son cuerpos acuáticos someros, que se localizan en el litoral del estado de Veracruz, dentro del municipio de Actopan. El clima de la zona corresponde al tipo Aw (w) (i), cálido subhúmedo con lluvias en verano, siendo el más húmedo de los subhúmedos; se presentan variaciones debido a la influencia de ciclones tropicales y de nortes. La temperatura máxima es de 34°C y la mínima de 16°C , con una media anual de 25.7°C . En esta region se registra una precipitación pluvial promedio de 1100 a 1200 mm anuales (García, 1973).

2.1. LAGUNA SALADA

La laguna Salada es un cuerpo de agua mixohalina de forma triangular, localizada al sur de la Central Nucleoséctrica Laguna Verde y de la laguna del mismo nombre y al norte de la laguna del Llano, entre los paralelos $19^{\circ}42'$ y $19^{\circ}43'$ de latitud norte y los meridianos $96^{\circ}24'$ y $96^{\circ}25'$ de longitud oeste (Figura 1).

La laguna Salada tiene una superficie de aproximadamente 51 ha; originalmente, presentaba comunicación temporal con el mar a través de una angosta barra de arena, misma que la delimita en todo su extremo este. Al norte está delimitada por un asentamiento de roca basáltica, mientras que al sur y oeste por roca andesítica y sedimentos aluviales (C.F.E., 1989).

En la laguna Salada el nivel de la profundidad es muy variable, ya que se encuentran desde zonas secas hasta una profundidad máxima de 3 m. Los componentes principales del fondo son arcillas y la batimetría realizada en 1978 indicó que existen ondulaciones suaves con elevaciones de hasta 0.5 msnm (C.F.E., 1989).

Durante la época de lluvias se presentan escurrimientos por el extremo oeste de la laguna, que junto con un pequeño arroyo de temporal que baja de las elevaciones montañosas más próximas y que se vierte por el extremo noroeste al cuerpo lagunar, son los aportes de agua dulce con que cuenta.

Análisis de agua realizados entre 1978 y 1979 registraron concentraciones de salinidad hasta de 70 o/oo, lo que hacía de la laguna Salada un medio muy selectivo para la flora y fauna existente (C.F.E., 1987).

Dada las altas concentraciones de sales en la laguna, los lugareños la explotaron como salina hasta los primeros años de la década de los setentas.

Hay evidencia de que existieron bancos de ostión en puntos bien localizados dentro de la laguna y se sabe que no se explotaron sistemáticamente, ya que la calidad del sabor no era buena. Además no existen registros de explotación, ni en las cooperativas pesqueras locales ni en la oficina de pesca de Veracruz, puesto que la profundidad y las variaciones de salinidad de la laguna no lo permitían (C.F.E., 1989).

En 1981 se construyó el canal de descarga del agua de enfriamiento de la Central Laguna Verde, ubicándose en el lado oriente de la laguna. La apertura del canal estableció una comunicación permanente con el mar lo que ha provocado la reducción en la concentración de sales, debido a los lavados continuos de sus sedimentos.

Por lo anterior, se estableció un programa de mediciones de salinidad por parte de Comisión Federal de Electricidad, en el primer semestre de 1986. Los resultados mostraron que la salinidad en el canal de descarga guarda una relación muy estrecha con la de la zona marina adyacente, mientras que en el interior de la laguna se nota el aumento de la salinidad a medida que se acerca el verano; cabe destacar que los registros no han bajado hasta la concentración del mar, pero tampoco se presenta la hipersalinidad que se alcanzaba antes de la apertura del canal (C.F.E., 1989).

En cuanto a los aspectos biológicos de la laguna, el personal de CFE ha realizado estudios que incluyen las comunidades zooplanctónicas, ictiológicas y vegetales. La comunidad zooplanctónica que se conserva permanentemente se localiza solamente en el canal de descarga y está integrada por los mismos grupos que se presentan en la zona costera adyacente. Respecto a la comunidad ictiológica, gracias a la apertura del canal de descarga y solamente en él, se han registrado 13 familias de las cuales tres tienen importancia comercial. En cuanto a la vegetación marginal de la laguna se reportan las

siguientes especies : *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Typha domingensis* y *Fimbristylis castanea*; las primeras tres están representadas en los estratos arboreo, arbustivo y herbáceo y las dos últimas como herbáceas (Acosta, 1985). En la laguna Salada no se ha registrado ninguna especie de fanerógama acuática, quizá debido a la gran cantidad de sedimentos y a la abundancia de sales (Gómez-Pompa, 1972).

2.2. LAGUNA EL LLANO

La laguna El Llano está situada sobre la llanura costera del Golfo de México entre los paralelos 19°36'19" y 19° 39'02" de latitud norte y el meridiano 96°21'35" de longitud oeste y entre las playas de Paraíso y Villa Rica (Figura 1).

Esta laguna tiene unas dimensiones aproximadas de 3.5 km de largo por 500 m en su parte más ancha, presenta comunicación temporal con el mar por medio de un canal situado al noroeste; la barra es semipermanente y solamente se abre en época de lluvias por lo que en estiaje es hipersalina; el nivel de la profundidad es muy variable con una profundidad máxima de 1.70 m (Mariano, 1988).

La temperatura ambiente promedio oscila entre 19.5°C y 30.6°C; la temperatura del agua tiene un promedio máximo de 34.5°C y un mínimo de 20°C; en cuanto a la salinidad, el promedio máximo anual es de 50 o/oo y el mínimo de 20 o/oo (Sosa y Ruiz, 1991). El promedio anual de oxígeno disuelto es de 3.8 ml/l y el de la transparencia es de 30.64 cm (Ceballos, 1988).

La laguna El Llano posee una amplia diversidad de especies, dentro de la ictiofauna se reportan 18 familias, 33 géneros y 46 especies, de las cuales sólo el 24 % son comerciales (Morales, 1984). Las especies más frecuentes en el habitat son: Anchoa mitchilli, Gobionellus boleosoma, Diapterus olisthostomus, Gobionellus hastatus, Eucinostomus melanopterus y Poecilia latipunctata (Morales, 1984). En los crustáceos, las especies más importantes en abundancia son Callinectes similis, Penaeus aztecus y Penaeus setiferus. De éste último género, la especie P. setiferus, es la más abundante y la que prácticamente soporta la pesca que se realiza, de camarón, en la laguna (Oliva, 1991; Servin, 1984). Dentro de la epifauna de las raíces del mangle de la laguna, la especie con mayor densidad es Balanus aburneus y la que representa el mayor espacio de fijación es Crassostrea virginica (Sosa y Ruiz, 1991).

Es importante mencionar que la vegetación que rodea la laguna está representada principalmente por Rhizophora mangle, Conocarpus erectus y Avicennia germinans (Sosa y Ruiz, 1991).

En la parte SW de laguna se localizan terrenos destinados a la ganadería, en la orilla norte se encuentra la comunidad pesquera de Villa Rica y en la parte sur a 500 m se sitúa el campamento "El Farallón" de la Comisión Federal de Electricidad.

2.3. LAGUNA LA MANCHA

La laguna de la Mancha está ubicada entre los paralelos 19°

34' y 19°42' de latitud norte y los meridianos 96°22' y 96°24' de longitud oeste; se encuentra a 30 km aproximadamente al noroeste de ciudad José Cardel sobre la carretera federal 180 y a 5 km al sur del campamento "El Farallón". La laguna es pequeña y de forma irregular; mide cerca de 5 Km de longitud con una superficie de 156 hectáreas. La laguna está formada por dos cuerpos de agua unidos por un canal estrecho y tiene intercambio de agua marina a través de una única boca no permanente llamada "Barra de la Mancha". Los aportes de agua dulce provienen de varios arroyos temporales y un único arroyo permanente, conocido como Caño Grande, que se localiza en la parte suroeste (Contreras, 1985). La profundidad de la laguna varía estacionalmente presentando un máximo promedio de 1.4 m y un mínimo de 0.67m (Figura 1).

En la mayor parte del sistema lagunar hay predominio de limo y arcillas; en las cercanías de la boca existen limo-arenas y arenas finas.

Las condiciones de salinidad varían de 0 a 5 o/oo hasta 18 a 30 o/oo y están condicionadas por los aportes de escurrimientos continentales, por la circulación de agua marina y por lo somero del área (Flores-Andolais et al., 1988).

En la laguna La Mancha se han registrado 23 familias, 34 géneros y 42 especies de peces. Las especies de mayor densidad son Anchoa mitchilli, Poecilia mexicana, Gambusia sp y Eucinostomus melanopterus (Mora y Ramírez, 1980). Los moluscos con la mayor importancia comercial que se encuentran en esta

laguna son Crassostrea virginica, Imogomon alatum y Melongena melongena; en otros con menor importancia comercial son Mytilopai leucophaea, Corithidae pliculos, Mulinia lateralis, Ocostomia impressa, nassarius vibex y diversos gasterópodos (Flores et al., 1981). Como fauna acompañante del ostión las especies dominantes son Brachidontes recurvus, Congeria leucophaea y Balanus aburneus (Coutiño, 1982).

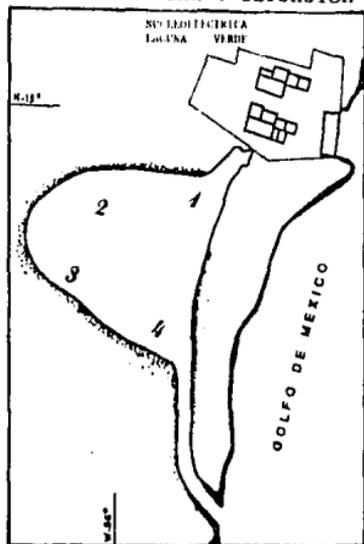
La vegetación marginal más importante de la laguna es el manglar, especialmente en el prolongado borde inundable de la porción sur, pero en general se encuentra rodeando la laguna en su totalidad. Su extensión varía desde unos cuantos metros, como en el lado este y oeste del cuerpo más grande, hasta más de un kilómetro hacia la parte sur del brazo de la laguna. La Comisión Federal de Electricidad en 1985 realizó una evaluación de la estructura de la comunidad del manglar, reportándose las especies : Rhizophora mangle, Avicennia germinans, Laguncularia racemosa y Conocarpus erectus.

La vegetación halófila asociada al mangle está constituida principalmente por Fimbristylis castanea, Batis maritima, Borriguia frutescens y Sesuvium maritimum. En esta laguna se reporta un ceibadal de Halodule beaudettei, fanerógama sumergida que forma manchones puros en los lugares más someros (Novelo, 1978).

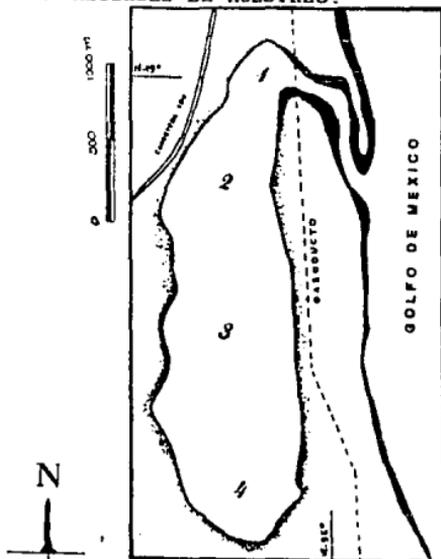
La laguna posee un asentamiento humano en la orilla este, donde habitan los pescadores que explotan esta laguna; existe también un área destinada a corrales para el ganado, así como

algunos establecimientos comerciales. Algunas zonas adyacentes al manglar son destinadas para la ganadería y la agricultura. Es importante mencionar que en la laguna, cerca de la barra, se tendió el gasoducto de PEMEX y en el borde occidental se tendió la vía del ferrocarril que va de Veracruz a Tampico.

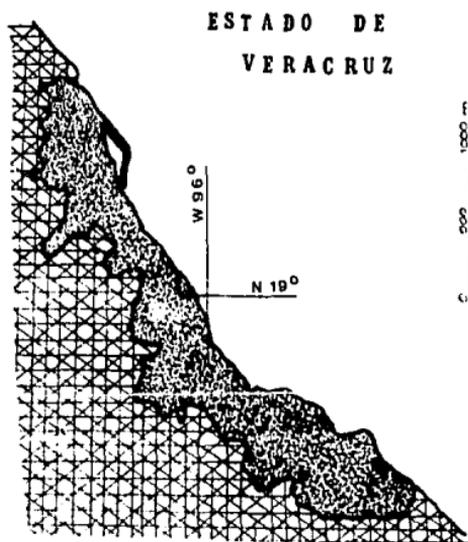
FIG. 1 LOCALIZACION DE LAS LAGUNAS SALADA, EL LLANO Y LA MANCHA Y UBICACION DE LAS LOCALIDADES DE MUESTRO.



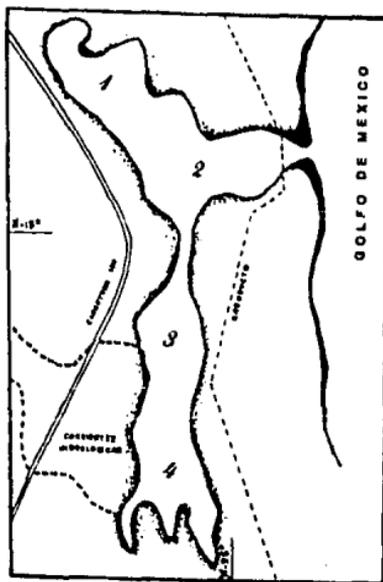
LAGUNA SALADA



LAGUNA EL LLANO



ESTADO DE VERACRUZ



LAGUNA LA MANCHA

3. METODO

Las muestras de sedimentos, agua y organismos, se recolectaron durante los meses de Octubre de 1992 y Febrero, Mayo y Agosto de 1993, en las cuatro localidades de cada una de las lagunas (Figura 1).

Se recolectaron sedimentos superficiales con la ayuda de una draga tipo Van Veen de un litro de capacidad. El sedimento se recogió con palas de plástico, cuidando que fuera del que no tuvo contacto con las paredes de la draga. En seguida se le colocó en bolsas de polietileno y se congeló para su posterior proceso en el laboratorio.

Las muestras de agua se obtuvieron en frascos de plástico de un litro de capacidad, los cuales se sumergían aproximadamente 10 cm en la laguna y se dejaban llenar libremente, a cada muestra se le agregaron 5 ml de HNO_3 concentrado y posteriormente, se congelaron para su procesamiento en el laboratorio.

Los organismos sésiles recolectados fueron Crissoastrea virginica, Brachidontes recurvus, Isognomon alatus, Balanus sp y Ruppia maritima, seleccionándose los ejemplares de mayor tamaño, los cuales se recolectaron de forma manual con un guante para desprenderlos del sustrato, y en algunos casos se solicitan directamente de los pescadores. En cuanto a los organismos del género Penaeus sp. se obtuvieron de los pescadores.

Los metales que se determinaron fueron Cadmio, Cobalto,

Cobre, Níquel, Zinc, Plomo, Hierro, Manganeso y Cromo. Las muestras se analizaron en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica/Emisión de Flama (Shimadzu Mod. AA 630-12) con lámpara de cátodo hueco.

3.1. METALES

Todo el material empleado para el análisis de metales se lavó previamente con HCl, 2N y HNO₃, 2N y se mantuvo durante 3 días en cada uno de los ácidos. Posteriormente se enjuagó el material con agua; una vez seco el material se guardó en bolsas de plástico para su uso posterior (Bertini et al., 1976; Moody and Lindstrom, 1977).

Todas las soluciones obtenidas de las diferentes digestiones se guardaron en recipientes de plástico para su lectura posterior. Para cada ocho muestras se analizó un blanco de referencia, el cual se sometió al mismo tratamiento que las muestras (Hamilton, 1980) y por medio de estándares conocidos se elaboró una curva patrón para cada metal analizado.

3.1.1. Metales totales en sedimentos

Una vez en el laboratorio los sedimentos se dejaron descongelar a temperatura ambiente y después se secaron a una temperatura de 50 °C durante aproximadamente 48 h, se maceraron en morteros y se tamizaron.

El método empleado para la determinación de metales totales en sedimentos fué el sugerido por Aghemian and Chau (1978) y modificado por Páez-Osuna (1990). El procedimiento consistió en digerir 0.25 g de sedimento seco y tamizado con 12 ml de HNO_3 concentrado a 110°C durante 18 h. Se emplearon bombas de teflón y plancha de aluminio sobre una cama de arena; en seguida se centrifugó a 2500 rpm durante 30 min, se colectó el sobrenadante en frascos de plástico y el botón se centrifugó con 18 ml de agua bidestilada por 25 min. a 2500 rpm. Se retiró el sobrenadante y se juntó con el primero en el frasco de plástico.

3.1.2. Metales biodisponibles en sedimentos

En este caso se empleó la técnica descrita por Loring y Rantala (1977) y Skei y Paus (1979). Muestras de 2.0 g de sedimento seco, pulverizado y tamizado se colocaron en matraces Erlenmeyer de 250 ml de capacidad con 25 ml de ácido acético al 25 % ; se agitó manualmente y se dejó digerir durante 24 h y se tapó el matraz con un vidrio de reloj. Pasadas las 24 h el material digerido se centrifugó durante 25 min a 2500 rpm; el sobrenadante se aforó a 50 ml con agua bidestilada y se guardaron las muestras en frascos de plástico.

3.1.3. Metales en agua

Para esta técnica se dejaron descongelar las muestras a temperatura ambiente; una vez descongeladas se tomaron alícuotas

de 500 ml en embudos de separación con capacidad de 1000 ml, a las cuales se les ajustó el pH a 4, se les adicionaron 10 ml de APDC (Amonio Pirilodina Ditio Carbamato) agitando 3 min y 20 ml de metil butil cetona, agitando vigorosamente durante 3 min y se esperó a que se separaran las fases, dejando reposar durante 12 h aproximadamente. La fase orgánica se transfirió a vasos de precipitado de 100 ml, se evaporó la solución a sequedad sin que alcanzara el punto de ebullición; en seguida, se adicionaron 2.5 ml de HNO_3 al 65% y se dejó evaporar, este paso se repitió y finalmente se adicionaron 2.0 ml de HNO_3 conc. y 10 ml de agua bidestilada y se evaporó aproximadamente hasta 5 ml, por último se aforó con agua bidestilada en un matraz de 10 ml y las muestras se guardaron en frascos de plástico.

3.1.4. Metales en organismos

Los organismos colectados se descongelaron a temperatura ambiente; el tejido blando se extrajo de las conchas, se deshidrató totalmente, se pulverizó y homogenizó.

El método empleado (IAEA, 1984) consistió en agregar 5 ml de HNO_3 concentrado a 1 g de tejido seco pulverizado y se dejó digerir durante aproximadamente 15 h a temperatura ambiente. Se volvió a digerir en bombas de teflón cerradas a una temperatura de 140°C durante 3 h y se aforó a 25 ml con agua bidestilada.

3.2. ANALISIS COMPLEMENTARIOS

Estos análisis consistieron en la determinación de la materia orgánica y los carbonatos en los sedimentos, así como de la granulometría. Estos parámetros son importantes para correlacionar la concentración de metales pesados existentes en cada uno de ellos.

3.2.1. Materia orgánica

La determinación de la materia orgánica en los sedimentos se realizó por titulación (Gaudette *et al.*, 1974), la cual consistió básicamente en la oxidación de 1 g de sedimento.

3.2.2. Carbonatos

La técnica empleada en éste análisis fue la sugerida por Alvarez (1986).

3.2.3. Granulometría

Para éste análisis se siguió el método descrito por Folk (1974) con tamices y pipetas. Se eliminó la materia orgánica de las muestras mediante un tratamiento con agua oxigenada al 25 %; en seguida se tamizaron y se obtuvieron dos fracciones; la fracción lodososa se analizó empleando la ley de Stokes sobre la velocidad de sedimentación de las partículas y la arenosa por

tamices.

3.3. Análisis Estadístico

Se calcularon los parámetros básicos, media (\bar{X}) y desviación estándar (S) de las muestras, según las siguientes representaciones simbólicas (Scheffler, 1981) :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \qquad S = \sqrt{\frac{n \sum X^2 - (\sum X)^2}{n^2}}$$

Para determinar si las diferencias entre épocas del año eran o no estadísticamente significativas, se calculó el error estándar ($S\bar{x}$), según la siguiente representación simbólica (Scheffler, 1981) :

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

En el cálculo del factor de concentración (FC) se dividió la concentración de la fracción total del sedimento de la localidad en donde se recolectó la especie, entre la concentración de la especie correspondiente (White and Rainbow, 1985). El factor de concentración sólo se calculó en las especies filtradoras.

Los polígonos iónicos son diagramas que representan las proporciones relativas de iones de los metales analizados en

cada laguna en la fracción total y biodisponible para cada época de muestreo. Los polígonos iónicos se calcularon según Broch and Yake, 1969.

Las correlaciones (r) se hicieron comparando los metales entre sí y con la materia orgánica y los carbonatos, para lo cual se empleó la siguiente representación matemática (Scheffler, 1981) :

$$r = \frac{\sum xy - (\sum x \sum y / n)}{\sqrt{(\sum x^2 - (\sum x)^2 / n)(\sum y^2 - (\sum y)^2 / n)}}$$

4. RESULTADOS

4.1. LAGUNA SALADA

SEDIMENTOS

METALES TOTALES. En la tabla 1 se reportan los elementos que se determinaron en mayor abundancia y que son el Zn, Mn y Fe; el zinc se presentó en un intervalo de 59.77 ppm a 139.58 ppm; el manganeso tuvo como mínima concentración 168 ppm y el fierro 5048 ppm. Entre las localidades de muestreo se observó poca variabilidad de dichos metales, no así entre las épocas de recolecta. En cuanto a los otros tres metales se observó que el níquel presentó menores concentraciones, luego el cobalto y el cobre.

En la tabla 2 están representadas las concentraciones obtenidas para metales tóxicos en las diferentes localidades y épocas de muestreo. La concentración de Cd presenta poca variación, al igual que la de Cr; en tanto que el Pb tiene una fluctuación promedio de 43.69 ppm a 95.13 ppm.

METALES BIODISPONIBLES. En la tabla 1 se muestran los metales biodisponibles esenciales; se puede observar que los elementos con mayores concentraciones fueron el Mn y el Fe, mientras que los cuatro restantes Ni, Co, Cu y Zn se mantuvieron más bajos. El Ni fluctuó entre un promedio de 4.04 a 5.38 ppm; el

TABLE 1. CONCENTRACION DE METALES ESENCIALES (ppm), EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA SALADA, VER. (OCT. 92 - AGO. 93).

LOCALIDAD		Ni				Co				Cu			
FRACCION		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
1	1	70.21	29.37	13.79	30.03	25.18	29.76	30.01	36.61	43.45	37.20	73.90	69.66
	2	5.93	2.57	5.14	4.04	6.81	7.28	9.04	10.06	4.35	8.91	8.91	11.81
2	1	64.84	46.10	37.01	76.68	20.98	33.26	26.09	62.09	23.97	38.03	87.57	99.30
	2	5.06	6.25	5.51	6.61	4.64	9.04	8.24	11.02	4.87	8.91	6.98	7.96
3	1	54.56	21.15	28.81	19.73	13.41	34.00	32.99	46.25	20.89	46.69	66.20	39.94
	2	5.06	2.93	2.93	4.41	5.36	9.72	9.96	10.97	4.87	6.98	6.98	4.98
4	1	54.01	17.74	16.17	23.85	13.90	35.49	33.13	46.42	12.74	53.09	75.81	48.25
	2	4.61	4.41	2.57	4.77	4.64	9.37	9.92	13.06	4.32	7.94	6.98	9.88
MEDIA	1	60.85±	28.59±	13.95±	37.57±	18.36±	32.88±	30.56±	47.84±	25.28±	43.75±	75.87±	64.29±
D.E.	1	7.92	12.05	10.92	26.41	5.70	2.90	3.31	10.55	13.00	7.56	8.84	26.49
E.E.	1	3.96	6.03	5.46	13.21	2.85	1.45	1.66	5.28	6.50	3.78	4.42	13.25
MEDIA	2	5.16±	4.04±	4.04±	4.96±	5.36±	8.85±	9.94±	11.28±	4.60±	8.18±	7.46±	9.15±
D.E.	2	0.55	1.67	1.50	1.14	1.02	1.08	0.58	1.27	0.30	0.92	0.96	2.14
E.E.	2	0.29	0.84	0.75	0.57	0.51	0.54	0.29	0.64	0.15	0.46	0.48	1.07
LIMITE DE DETECCION		0.14				0.16				0.13			

LOCALIDAD		Zn				Mn				Fe			
FRACCION		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
1	1	84.20	111.60	126.36	116.15	378.48	231.22	427.14	543.82	34726.23	6483.98	6911.90	8030.11
	2	11.72	16.65	15.90	19.11	175.38	137.59	161.29	173.14	4859.12	1296.78	837.37	759.00
2	1	65.83	121.95	128.15	139.58	259.51	308.56	545.70	886.33	30539.77	8813.28	10393.65	12580.61
	2	10.98	17.45	14.82	19.90	101.96	196.49	140.41	166.93	7447.20	992.55	858.88	511.84
3	1	59.77	114.79	121.41	112.70	166.68	209.45	385.24	348.50	14619.22	6407.97	5638.99	5048.54
	2	10.05	18.71	18.42	18.59	72.64	107.12	95.84	97.53	5160.26	1057.08	1052.48	1113.94
4	1	62.12	117.12	122.37	121.06	190.21	175.40	391.48	393.50	12735.72	6960.32	6217.49	5898.39
	2	7.93	17.51	19.69	19.96	91.85	109.94	103.14	129.13	4438.80	1347.49	903.44	1305.99
MEDIA	1	67.98±	116.37±	124.57±	122.87±	249.22±	203.14±	437.39±	493.04±	23155.24±	6667.64±	7290.51±	7889.41±
D.E.	1	11.09	4.36	3.21	11.66	94.48	23.39	74.53	153.56	11103.29	262.18	2133.21	3369.56
E.E.	1	5.55	2.10	1.61	5.83	47.24	11.70	37.27	76.78	5551.65	131.09	1044.61	1654.78
MEDIA	2	10.17±	17.58±	17.21±	19.39±	110.45±	165.90±	125.18±	141.68±	5476.35±	1173.48±	913.43±	922.64±
D.E.	2	1.64	0.85	2.24	0.66	44.95	96.16	30.99	35.28	1346.80	174.90	96.94	355.35
E.E.	2	0.82	0.43	1.12	0.33	22.48	48.08	15.50	17.64	673.40	87.45	48.47	177.78
LIMITE DE DETECCION		0.036				0.07				0.15			

1 - FRACCION TOTAL; 2 - FRACCION BIODISPONIBLE; D.E. - DESVIACION ESTANDAR; E.E. - ERROR ESTANDAR.

Co de 5.36 a 11.28 ppm el Cu de 4.68 a 9.15 ppm y por último el Zn de 10.17 a 19.39 ppm. Dichas concentraciones se mantuvieron más o menos estables entre las localidades por lo que se presentan desviaciones estándar bajas.

Entre los metales biodisponibles tóxicos (tabla 2) se observó que el Pb presentó las mayores concentraciones en promedio con una fluctuación de 9.74 a 28.17 ppm, mientras que el Cd y el Cr se mantuvieron muy estables, con la excepción del mes de febrero para el Cr.

AGUA

De los nueve metales evaluados en agua, solamente se detectaron el Fe y el Mn. El primero presenta fluctuaciones que van de 0.60 a 1.33 ppm y el segundo de 0.16 a 0.36 ppm (Tabla 3).

BIOTA

En ésta laguna sólo se colectó un tipo de organismo, correspondiente al género Balanus sp.; en la tabla 4 están descritas las concentraciones de los metales esenciales presentes en este género, para el mes de febrero. En cuanto a los elementos tóxicos, los valores para Cr en Balanus sp. fueron de 4.19 ppm, de Pb 2.20 ppm y de Cd 0.37 ppm.

TABLA 2. CONCENTRACION DE METALES TOXICOS (ppm) EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA SALADA, VER. (OCT. 92 - ABO. 93).

LOCALIDAD	FRACCION	Cd				Cr				Pb			
		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
1	1	0.8 ₄	1.9 ₆	2.9 ₂	2.9 ₆	-1.22	22.26	26.68	22.82	49.17	65.22	95.92	96.18
	2	0.21	0.37	0.54	0.37	4.53	3.41	4.96	3.41	7.5 ₄	10.28	26.51	27.70
2	1	0.81	2.00	3.04	3.06	32.54	27.06	45.11	32.34	33.31	80.33	95.78	92.45
	2	6.78	0.37	0.37	0.37	4.01	N.D.	4.19	4.96	13.54	10.44	30.01	25.72
3	1	0.89	1.93	3.04	2.92	27.53	17.89	40.84	35.63	41.19	78.93	94.18	91.19
	2	0.71	0.19	0.54	0.37	4.01	N.D.	4.19	4.96	13.54	9.78	26.09	25.39
4	1	0.92	1.98	2.99	2.94	22.65	26.67	31.64	22.67	51.01	82.72	94.65	91.96
	2	0.54	0.37	0.37	0.37	3.50	N.D.	3.41	4.96	14.04	8.46	30.08	24.24
MEDIA	1	0.84 _±	1.97 _±	3.00 _±	2.97 _±	30.78 _±	23.47 _±	36.67 _±	28.22 _±	43.84 _±	77.05 _±	95.13 _±	92.95 _±
D.E.	1	0.04	0.03	0.06	0.06	7.92	4.31	8.41	6.41	8.09	7.39	0.85	2.22
E.E.	1	0.02	0.02	0.03	0.03	3.96	2.16	4.21	3.21	4.05	3.70	0.43	1.11
MEDIA	2	0.56 _±	0.33 _±	0.45 _±	0.37 _±	4.01 _±	0.85 _±	4.19 _±	4.57 _±	12.16 _±	9.74 _±	28.17 _±	25.76 _±
D.E.	2	0.25	0.09	0.10	0.00	0.42	1.70	0.63	0.77	3.09	0.90	2.17	1.44
E.E.	2	0.13	0.05	0.05	0.00	0.21	0.85	0.32	0.39	1.55	0.45	1.09	0.72
LIMITE DE DETECCION		0.025				0.13				0.27			
1 - FRACCION TOTAL;		2 - FRACCION BIODISPONIBLE;				D.E. - DESVIACION ESTANDAR;				E.E. ERROR ESTANDAR.			

TABLA 3. CONCENTRACION DE METALES ESENCIALES (ppm) EN AGUA DE LA LAGUNA SALADA, VER. (OCT. 92 - ABO. 93).

LOCALIDAD	Fe				Mn				
	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	
1	0.94	1.10	0.91	0.77	0.30	0.22	0.16	0.24	
2	0.83	1.13	0.74	0.71	0.32	0.25	0.31	0.38	
3	1.33	1.00	0.60	0.62	0.36	0.20	0.30	0.33	
4	1.07	0.97	0.82	0.84	0.29	0.29	0.30	0.36	
MEDIA	1.04	1.06	0.77	0.73	0.32	0.24	0.27	0.32	
LIMITE PERMISIBLE		0.05				5.1			
LIMITE DE DETECCION		0.15				0.07			
S.I. - SIN INFORMACION;		--		SIN MUESTRA.					

TABLA 4. CONCENTRACION DE METALES (ppm) EN BIOTA DE LA LAGUNA SALADA, VER. (FEBRERO 1993)

<i>Balanus</i> sp	Ni 8.82	Co 8.62	Cu 34.07
<i>Balanus</i> sp	Zn 110.56	Mn 49.57	Fe 1442.74
<i>Balanus</i> sp	Cr 4.19	Pb 2.20	Cd 0.37

ANALISIS COMPLEMENTARIOS

Es importante conocer las concentraciones de materia orgánica, ya que ésta puede influir en la distribución de los metales. En la tabla 5 se especifican los porcentajes determinados para las 4 localidades de la laguna Salada, en donde se aprecia la variabilidad estacional, correspondiendo los mayores al mes de agosto.

Otro factor importante en la distribución y concentración de los metales lo constituye la presencia de carbonatos (Mandelli, 1979) por lo que es necesario tomar en cuenta su abundancia y distribución en la zona. En la tabla 5 se muestran los valores obtenidos durante los cuatro meses de muestreo. Es posible apreciar que para octubre se tuvieron las concentraciones más altas y en febrero las más bajas.

El tamaño de grano de los sedimentos también es un factor importante para la evaluación de los metales, por lo que se representan los porcentajes obtenidos para arenas, gravas, limos y arcillas en las 4 localidades de ésta laguna, en la Tabla 5.

TABLE 5. ANALISIS COMPLEMENTARIOS DE LA LAGUNA
SALADA, VER. (OCT. 92 - AGO. 93).

CONCENTRACION (%) DE MATERIA ORGANICA

LOCALIDAD	OCT	FEB	MAY	AGO
1	1.94 %	0.96 %	0.564 %	4.41 %
2	1.32 %	0.95 %	0.860 %	3.06 %
3	1.32 %	0.27 %	1.608 %	3.06 %
4	0.74 %	1.00 %	1.092 %	3.06 %
MEDIA	1.33 %	0.79 %	1.031 %	3.39 %

CONCENTRACION (%) CARBONATOS

LOCALIDAD	OCT	FEB	MAY	AGO
1	8.02 %	3.85 %	7.06 %	9.63 %
2	10.44 %	10.28 %	8.99 %	7.71 %
3	8.02 %	0.64 %	5.14 %	7.06 %
4	11.24 %	2.57 %	4.35 %	12.21 %
MEDIA	9.43 %	4.33 %	6.38 %	9.15 %

GRANULOMETRIA DE OCTUBRE 1992

LOCALIDAD	ARENA (%)	GRAVA (%)	ARCILLA (%)	LIMO (%)
1	68.7	8.67	3.0	19.63
2	87.28	0.237	12.344	0.139
3	88.16	0.87	10.783	0.187
4	90.21	1.63	7.84	0.32

4.2. LAGUNA EL LLANO

SEDIMENTOS

METALES TOTALES. En la tabla 6 se anotan los valores obtenidos para los metales esenciales, de los cuales el cobalto presentó las concentraciones promedio más bajas y las menores desviaciones estándar lo que indica que hay poca variabilidad; el níquel, el cobre y el zinc presentaron valores similares entre sí. Para el Ni se obtuvieron concentraciones promedio entre 25.54 y 77.11 ppm, mientras que para el Cu de 66.64 a 77.79 ppm y para el Zn de 69.84 a 108.88 ppm. Por último el Mn y el Fe presentaron los valores más altos, con 1,383.52 y 37,966.97 ppm respectivamente.

Dentro de los metales tóxicos (Tabla 7), el Cd presentó las menores concentraciones; la más alta de 2.0 ppm, correspondió al Cr cuyas concentraciones promedio fueron de 26.65 a 53.80 ppm, el Pb presentó las mayores concentraciones y con mucha variación ya que en febrero se obtuvieron 57.25 ppm y en octubre casi el doble con 100.70 ppm.

METALES BIODISPONIBLES. Las concentraciones obtenidas de los metales esenciales se presentan en la tabla 6. El Ni, Co, Cu y Zn mostraron bajas concentraciones y sin mucha diferencia entre ellos. El Ni presentó valores promedio entre 3.12 y 5.28 ppm, con poca variación entre las estaciones. Para el Co también hubo poca variación y con valores promedio entre 6.44 y 8.19 ppm,

TABLA 6. CONCENTRACION DE METALES ESENCIALES (ppm), EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA EL LLANO, PER. (OCT. 92 - AGO. 93).

LOCALIDAD		Ni				Co				Cu			
FRACCION	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	
1	1	79.26	28.00	22.08	55.85	25.15	21.70	20.24	50.48	68.88	53.79	63.93	93.69
	2	5.06	3.30	3.67	4.77	5.36	4.97	7.51	6.93	3.82	12.78	9.88	10.85
2	1	66.59	51.38	28.19	15.63	27.10	22.31	21.32	26.02	54.84	79.16	75.40	39.58
	2	5.06	5.14	2.57	4.04	6.81	6.99	8.87	8.97	4.87	14.78	9.88	7.94
3	1	83.63	45.62	--	--	28.22	23.92	--	--	75.10	105.53	--	--
	2	5.74	4.77	--	--	6.81	7.05	--	--	4.87	17.62	--	--
4	1	78.99	40.83	--	--	23.38	21.06	--	--	69.33	72.74	--	--
	2	5.28	3.83	--	--	6.61	7.00	--	--	3.82	13.75	--	--
MEDIA	1	77.11±	41.46±	25.54±	35.74±	23.96±	19.84±	20.78±	38.25±	67.03±	77.79±	69.67±	66.64±
D.E.	1	7.33	9.95	3.75	28.44	2.13	0.71	0.76	17.30	8.60	21.39	8.11	38.16
E.E.	1	3.67	4.98	1.88	14.22	1.07	0.36	0.38	8.65	4.30	10.70	4.06	19.08
MEDIA	2	5.28±	4.77±	3.12±	4.40±	6.44±	7.00±	8.19±	7.95±	4.34±	14.73±	9.88±	9.39±
D.E.	2	0.32	1.08	0.78	0.52	0.72	0.03	0.96	1.44	0.60	2.09	0.00	2.06
E.E.	2	0.16	0.54	0.39	0.26	0.36	0.02	0.48	0.72	0.30	1.05	0.00	1.03
LIMITE DE DETECCION		0.14				0.16				0.13			

LOCALIDAD		Zn				Mn				Fe			
FRACCION	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	
1	1	78.59	81.30	115.05	93.00	810.44	343.65	635.77	1383.52	37966.97	5959.28	6350.06	10821.80
	2	6.08	8.41	16.19	14.24	246.78	229.00	268.50	662.92	2980.67	1140.06	1239.93	1115.47
2	1	82.12	51.97	102.71	101.83	1005.45	718.29	451.26	877.70	30890.02	8076.30	7034.90	5527.58
	2	6.27	9.21	15.67	13.62	457.21	403.93	274.14	526.94	7449.04	1544.15	1090.89	1313.68
3	1	101.57	72.55	--	--	869.80	773.23	--	--	35573.47	9073.98	--	--
	2	6.73	8.18	--	--	524.84	443.42	--	--	8813.49	1848.37	--	--
4	1	89.40	73.54	--	--	1049.81	647.26	--	--	32071.05	6770.41	--	--
	2	6.54	7.55	--	--	727.67	414.08	--	--	6132.11	1327.50	--	--
MEDIA	1	87.92±	69.84±	109.88±	92.42±	933.87±	620.61±	543.51±	1130.61±	34125.38±	7470.00±	6692.49±	8174.69±
D.E.	1	10.15	12.54	8.73	6.24	112.40	191.70	130.47	357.67	3242.56	1379.86	484.26	3743.58
E.E.	1	5.08	6.27	4.37	3.12	56.20	95.85	65.24	178.84	1621.64	689.93	242.13	1871.79
MEDIA	2	6.40±	8.34±	15.93±	13.93±	485.62±	390.23±	271.32±	594.93±	6243.83±	1465.02±	1165.41±	1214.57±
D.E.	2	0.28	0.68	0.37	0.44	195.84	63.15	3.99	96.15	2495.09	304.26	105.39	140.15
E.E.	2	0.14	0.34	0.19	0.22	97.92	31.58	2.00	48.08	1247.55	152.13	52.70	70.08
LIMITE DE DETECCION		0.036				0.07				0.15			

1 - Fracción Total; 2 - Fracción Biodisponible; D.E. - Desviación Estándar; -- Sin Muestra.

mientras que para el Cu y el Zn la variación fue mayor ya que para el primero se encontraron valores promedio entre 4.34 y 14.73 ppm y para el segundo de 6.40 a 15.93 ppm. Los valores más altos en los metales esenciales, correspondieron al Mn y al Fe, además de presentar las desviaciones estándar más altas.

En cuanto a los metales tóxicos las mayores concentraciones correspondieron al Pb, luego al Cr y las más bajas al Cd (Tabla 7).

AGUA

En los análisis de agua se solamente se detectaron el Mn y el Fe, los cuales fluctuaron entre valores de 0.13 a 0.46 ppm el primero y 0.43 a 1.86 ppm, el segundo (Tabla 8). Los metales restantes no se detectaron.

BIOTA

En la tabla 9 se anotan las concentraciones de metales esenciales obtenidas para febrero y mayo en Crassostrea virginica, que fue el único género colectado en esta laguna, de los cuales el Fe, el Mn y el Cu presentaron las concentraciones más altas, disminuyendo para el Mn. Las concentraciones más bajas correspondieron al Ni y Co.

Los metales tóxicos de esta laguna están enlistados en la

TABLA 7. CONCENTRACION DE METALES TOXICOS (ppm) EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA EL LLANO, VER. (OCT. 92 - AGO. 93).

LOCALIDAD	FRACCION	Cd				Cr				Pb			
		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
1	1	0.91	1.06	1.99	2.07	52.49	18.59	26.91	36.64	87.26	57.76	90.16	93.69
	2	0.51	0.02	0.37	0.19	4.53	4.44	3.41	3.41	4.54	11.76	36.55	10.85
2	1	0.84	1.98	2.02	1.03	52.49	30.84	27.22	22.33	91.17	55.24	89.92	39.58
	2	0.22	0.19	0.37	0.37	4.01	9.61	3.41	4.19	9.04	11.93	27.54	7.74
3	1	1.10	1.05	--	--	59.95	26.79	--	--	110.73	58.13	--	--
	2	0.76	0.19	--	--	5.04	7.54	--	--	6.04	11.93	--	--
4	1	1.11	1.02	--	--	51.30	30.36	--	--	112.66	57.86	--	--
	2	0.86	0.19	--	--	4.01	9.01	--	--	7.54	12.10	--	--
MEDIA	1	0.99±	1.25±	2.00±	1.55±	53.80±	26.65±	27.07±	29.49±	100.70±	57.25±	90.04±	87.19±
D.E.	1	0.13	0.47	0.02	0.74	3.47	5.67	0.22	10.12	13.41	1.35	0.17	1.33
E.E.	1	0.07	0.24	0.01	0.37	1.74	2.84	0.11	5.06	6.71	0.68	0.09	0.67
MEDIA	2	0.58±	0.15±	0.37±	0.28±	4.39±	7.35±	3.41±	3.80±	6.79±	11.93±	32.04±	14.65±
D.E.	2	0.29	0.06	0.00	0.13	0.49	2.31	0.00	0.55	1.93	0.14	0.37	0.82
E.E.	2	0.14	0.04	0.00	0.07	0.25	1.16	0.00	0.28	0.97	0.07	0.19	0.41
LIMITE DE DETECCION		0.025				0.13				0.27			
1 - FRACCION TOTAL; 2 - FRACCION BIODISPONIBLE; D.E. - DESVIACION ESTANDAR; E.E. - ERROR ESTANDAR.													

TABLA 8. CONCENTRACION DE METALES ESENCIALES (ppm) EN AGUA DE LA LAGUNA EL LLANO, VER. (OCT. 92 - AGO. 93).

LOCALIDAD	Fe				Mn				
	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	
1	0.43	0.66	0.97	1.43	0.30	0.21	0.16	0.26	
2	0.61	0.78	0.99	1.96	0.43	0.32	0.13	0.30	
3	0.74	0.81	--	--	0.46	0.33	--	--	
4	0.54	0.77	--	--	0.36	0.30	--	--	
MEDIA	0.59	0.75	0.99	1.64	0.39	0.29	0.15	0.28	
LIMITE PERMISIBLE		0.05				5.1			
LIMITE DE DETECCION		0.15				0.07			
S.I. - SIN INFORMACION; -- SIN MUESTRA.									

TABLA 9. CONCENTRACION DE METALES (ppm) EN BIODA DE LA LAGUNA EL LLANO, VER. (FEBRERO Y MAYO 1993).

ORGANISMO	LOCALIDAD	Ni		Co		Cu	
		FEB	MAY	FEB	MAY	FEB	MAY
		<u>Crassostrea virginica</u>	-	4.77	5.60		653.07
<u>Crassostrea virginica</u>	2		3.49	1.37	1698.71		

ORGANISMO	LOCALIDAD	Zn		Mn		Fe	
		FEB	MAY	FEB	MAY	FEB	MAY
		<u>Crassostrea virginica</u>	-	734.95	96.24		1302.92
<u>Crassostrea virginica</u>	2		404.70	43.36	528.54		

ORGANISMO	LOCALIDAD	Cr		Pb		Cd	
		FEB	MAY	FEB	MAY	FEB	MAY
		<u>Crassostrea virginica</u>	-	5.74	1.92		1.06
<u>Crassostrea virginica</u>	2		3.41	2.53	1.15		

misma tabla y se pudo observar que los tres metales (Cr, Cd y Pb) analizados, presentaron concentraciones similares entre sí; la más alta concentración se obtuvo para el Cu con 5.74 ppm, durante el mes de febrero.

ANALISIS COMPLEMENTARIOS

Las concentraciones de materia orgánica de los meses de octubre-92 a agosto-93 en las cuatro localidades de esta laguna se encuentran enlistadas en la tabla 10. En este caso se obtuvo un porcentaje promedio de alrededor de 1.5 % para los tres primeros meses; aumentó al doble para el mes de agosto, probablemente debido al arrastre de partículas continentales con las lluvias y vientos de dicho mes.

Respecto a los porcentajes de carbonatos presentes en las cuatro estaciones de esta laguna (Tabla 10), se presentó mucha variación de un mes a otro. En cuanto a los porcentajes promedio fueron muy similares en todos los meses a excepción de mayo donde el porcentaje es mayor (11.24%).

En la tabla 10 se encuentran enlistados los valores de arenas, gravas, arcillas y limos de las cuatro localidades de muestreo en el mes de octubre 1992.

**TABLA 10. ANALISIS COMPLEMENTARIOS DE LA LAGUNA
EL LLANO, VER. (OCT. 92 - AGO. 93)**

CONCENTRACION (%) DE MATERIA ORGANICA

LOCALIDAD	OCT	FEB	MAY	AGO
1	1.48 %	1.30 %	2.136 %	2.86 %
2	1.54 %	1.41 %	1.20 %	3.27 %
3	1.38 %	1.77 %	--	--
4	1.71 %	1.17 %	--	--
MEDIA	1.52 %	1.41 %	1.66 %	3.06 %

CONCENTRACION (%) DE CARBONATOS

LOCALIDAD	OCT	FEB	MAY	AGO
1	12.04 %	3.85 %	7.81 %	9.63 %
2	4.81 %	14.13 %	14.78 %	8.99 %
3	9.63 %	9.63 %	--	--
4	12.85 %	8.99 %	--	--
MEDIA	9.83 %	9.15 %	11.24 %	9.31 %

-- SIN MUESTRA

GRANULOMETRIA DE OCTUBRE 1992

LOCALIDAD	ARENA (%)	GRAVA (%)	ARCILLA (%)	LIMO (%)
1	89.58	00.07	10.35	0.0
2	18.62	00.55	80.83	0.0
3	12.47	52.94	27.19	7.4
4	10.77	00.359	44.88	43.98

4.3. LAGUNA LA MANCHA

SEDIMENTOS

METALES TOTALES. En la tabla 11 se anotan las concentraciones (ppm) de los elementos esenciales en su forma total, para los sedimentos de la laguna la Mancha. El Fe presentó las mayores concentraciones y la más alta se registró en el mes de octubre (31,746.27 ppm). Para el Mn los valores promedio más altos correspondieron a mayo con 668.79 ppm; el Zn y el Cu presentaron concentraciones menores y tuvieron una menor variabilidad que los dos metales anteriores. Para el Zn la concentración promedio máxima fué de 110.48 ppm y para el Cu de 43.49 ppm. Las concentraciones de Ni fueron intermedias entre el Zn y el Cu, con 80.62 ppm como concentración máxima promedio. Por último el promedio máximo de Co fue de 43.49 ppm; dicho metal presentó la menor concentración entre los metales esenciales presentes en esta laguna.

Para los metales tóxicos analizados se determinaron valores similares en Pb y Cr, las que fueron muy bajas en comparación con las obtenidas para el Cd. En este último se presentó la menor variabilidad entre las localidades y entre los meses de muestreo (Tabla 12).

METALES BIODISPONIBLES. En cuanto a la biodisponibilidad de los metales esenciales que se analizaron (Tabla 11), el Fe y Mn se encontraron con las concentraciones más altas; el Fe con

TABLE 11. CONCENTRACION DE METALES ESENCIALES (ppm), EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA LA RANCHA, VER. (OCTUBRE 1992 - AGOSTO 1993).

LOCALIDAD		Ni				Co				Cu			
FRACCION		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
1	1	81.25	49.74	47.62	76.66	27.42	14.46	26.84	39.03	51.61	66.52	88.35	61.11
	2	5.06	3.88	2.93	5.14	5.26	4.39	9.99	16.93	7.48	7.94	6.98	6.78
2	1	79.77	45.56	48.48	61.14	19.64	14.35	29.05	46.54	53.29	56.01	75.55	56.35
	2	4.61	4.41	2.57	7.25	5.36	2.78	10.61	11.02	5.39	7.94	6.98	6.98
3	1	82.21	46.59	53.85	78.91	27.35	14.67	30.31	49.36	32.84	77.73	88.37	59.67
	2	5.28	2.20	2.20	3.30	6.81	1.97	19.04	6.93	7.48	7.94	7.94	N.D.
4	1	79.26	45.08	46.56	60.99	20.61	15.39	29.01	39.03	30.36	62.99	87.05	66.58
	2	5.51	3.67	2.20	4.77	8.26	5.16	10.09	4.63	5.39	6.91	7.94	N.D.
MEDIA	1	80.62 _±	46.74 _±	49.12 _±	69.20 _±	23.76 _±	13.14 _±	28.80 _±	43.49 _±	42.03 _±	65.81	84.83	63.49
B.E.	1	1.36	2.10	3.23	9.96	4.21	3.80	1.44	5.22	12.10	9.06	6.21	5.28
E.E.	1	0.68	1.05	1.62	4.98	2.11	1.90	0.72	2.64	6.05	4.53	3.11	2.64
MEDIA	2	5.12 _±	4.04 _±	2.47 _±	5.14 _±	6.44 _±	2.07 _±	10.01 _±	7.44 _±	6.43 _±	8.10 _±	7.46 _±	3.49 _±
B.E.	2	0.38	1.53	0.35	1.68	1.38	1.89	0.02	2.57	1.20	0.48	0.55	4.03
E.E.	2	0.19	0.77	0.18	0.84	0.69	0.95	0.01	1.29	0.60	0.24	0.29	2.02
LIMITE DE DETECCION		0.14				0.16				0.13			

LOCALIDAD		Zn				Mn				Fe			
FRACCION		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
1	1	72.22	86.63	117.92	110.22	579.49	316.68	463.50	517.67	35077.69	9247.15	12106.52	10326.78
	2	4.60	20.31	9.50	14.65	291.71	218.85	231.26	248.19	1564.81	772.84	928.02	188.97
2	1	72.76	100.63	110.33	95.40	818.37	322.99	734.31	579.99	25162.05	7664.61	9491.72	9315.64
	2	5.80	15.39	9.44	13.62	490.24	210.38	293.33	341.86	2390.67	823.54	1196.90	1008.31
3	1	71.58	84.90	101.20	87.80	433.84	547.86	451.19	617.23	29918.72	11920.17	12771.95	12010.60
	2	5.60	12.99	11.90	9.44	267.38	394.90	268.50	270.19	6552.55	338.01	207.41	374.89
4	1	67.29	91.20	112.47	91.23	460.06	492.92	826.15	657.72	26826.12	10534.74	13302.18	13682.30
	2	8.95	20.48	12.93	11.32	274.19	272.45	290.79	251.57	5944.64	114.42	121.37	59.91
MEDIA	1	70.96 _±	90.84 _±	110.48 _±	96.16 _±	574.44 _±	420.10 _±	668.79 _±	593.15 _±	31766.27 _±	9866.67 _±	12218.09 _±	11313.88 _±
B.E.	1	2.50	7.05	6.96	9.87	173.90	117.96	154.39	59.50	4095.08	1805.75	1824.35	1887.67
E.E.	1	1.30	3.53	3.48	4.94	86.95	58.98	77.20	29.75	2047.54	902.88	912.18	943.84
MEDIA	2	6.24 _±	17.29 _±	10.91 _±	12.26 _±	320.36 _±	274.14 _±	273.46 _±	277.95 _±	4113.17 _±	519.52 _±	613.42 _±	408.02 _±
B.E.	2	1.81	3.71	1.75	2.34	101.75	85.06	63.56	43.69	2501.07	331.61	531.15	420.50
E.E.	2	0.91	1.86	0.88	1.17	50.88	42.53	31.78	21.85	1250.54	165.81	265.58	210.29
LIMITE DE DETECCION		0.036				0.07				0.27			

1 - Fracción total; 2 - Fracción biodisponible; B.E. - Desviación Estándar; E.E. - ERROR ESTANDAR.

un valor promedio de 1113.17 ppm y el Mn con 328.38 ppm. Las concentraciones de Zn, Cu, Co y Ni disminuyeron en ese orden; para el Zn se observó una amplia variabilidad en los diferentes meses; mientras que para los tres metales restantes la variabilidad fue menor, con valores promedio similares.

En cuanto a los metales tóxicos biodisponibles (Tabla 12), el Cd presentó las concentraciones más bajas y con poca variabilidad entre los 4 meses de estudio; presentó un valor promedio máximo de 0.89 ppm. El Cr se mantuvo constante los tres primeros meses de muestreo con una concentración promedio máxima de 4.78 ppm, pero en el último mes ésta disminuyó a 0.85 ppm. En éste mismo mes se presentó la desviación estándar más alta. El Pb fue el elemento que presentó la mayor variabilidad de los tres y tuvo las concentraciones más elevadas con su concentración promedio máxima en el mes de mayo (34.12 ppm).

AGUA

En la tabla 13 se presentan las concentraciones obtenidas para metales esenciales en agua, de los cuales el Ni, Co, Cu, Zn, Cd, Cr y Pb no fueron detectados. De el Mn y el Fe se encontraron para el primero concentraciones de 0.21 a 0.98 ppm, y para el segundo de 0.29 a 0.90 ppm.

TABLE 12. CONCENTRACION DE METALES TOXICOS (ppm) EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA LA MANCHA, VER. (OCT. 92 - AGO. 93).

LOCALIDAD	FRACCION	Cd				Cr				Pb			
		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
1	1	1.01	1.00	2.08	2.08	75.65	37.93	54.14	36.69	69.24	67.23	89.90	89.56
	2	0.81	0.19	0.37	0.37	4.53	4.96	4.19	N.D.	7.54	12.10	37.48	35.39
2	1	1.01	1.00	2.02	1.91	74.27	29.63	48.56	33.84	67.98	69.27	90.11	90.01
	2	0.84	0.19	0.37	0.37	4.53	4.19	4.19	3.41	6.04	11.93	35.73	30.00
3	1	1.11	1.02	2.07	1.06	75.47	34.40	58.52	40.09	76.73	58.64	90.94	92.94
	2	0.97	0.02	0.19	0.19	5.04	4.19	4.19	N.D.	7.54	12.42	35.90	29.99
4	1	1.11	1.96	1.06	2.07	68.01	30.60	57.20	41.07	84.95	86.47	84.51	90.71
	2	0.97	0.19	0.19	0.37	5.04	4.96	4.19	N.D.	10.54	12.42	27.36	30.06
MEDIA	1	1.06±	1.25±	1.81±	1.28±	73.35±	33.14±	54.61±	37.92±	74.73±	70.40±	89.87±	90.81±
D.E.	1	0.06	0.48	0.50	0.49	3.61	3.80	4.43	3.31	7.33	11.66	2.94	1.50
E.E.	1	0.03	0.24	0.25	0.25	1.81	1.90	2.22	1.66	3.92	5.83	1.47	0.75
MEDIA	2	0.89±	0.15±	0.28±	0.32±	4.78±	4.57±	4.19±	0.35±	7.91±	12.22±	34.12±	31.36±
D.E.	2	0.08	0.08	0.10	0.09	0.29	0.44	0.00	1.77	1.88	0.24	4.57	2.69
E.E.	2	0.04	0.04	0.05	0.05	0.15	0.22	0.00	0.85	0.94	0.12	2.29	1.35
LIMITE DE DETECCION		0.025				0.13				0.27			
1 - FRACCION TOTAL; 2 - FRACCION BIODISPONIBLE; D.E. - DESVIACION ESTANDAR; E.E. - ERROR ESTANDAR.													

TABLE 13. CONCENTRACION DE METALES ESENCIALES (ppm) EN AGUA DE LA LAGUNA LA MANCHA, VER. (OCT. 92 - AGO 93).

LOCALIDAD	Fe				Mn				
	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	
1	0.90	0.58	0.39	0.41	0.31	0.35	0.29	0.30	
2	0.86	0.64	0.43	0.30	0.60	0.47	0.40	0.41	
3	0.61	0.49	0.38	0.57	0.52	0.45	0.39	0.39	
4	0.54	0.31	0.29	0.32	0.98	0.81	0.76	0.80	
MEDIA	0.73	0.50	0.37	0.40	0.60	0.51	0.46	0.47	
LIMITE PERMISIBLE		0.05				S.I.			
LIMITE DE DETECCION		0.15				0.07			
S. I. - SIN INFORMACION									

BIOTA

En esta laguna se colectaron cinco géneros pertenecientes a organismos en las diferentes localidades y meses. En la tabla 14 se enlistan las concentraciones obtenidas de metales esenciales en ellos. Para el Fe se observa una gran variación, presentándose las mayores concentraciones en Ruppia maritima y la menor en el género Panaeus sp. El Mn al igual que el Fe fué muy variable, con las concentraciones más altas en R. maritima (1039 ppm). En el caso del Zn los valores más elevados se encontraron en Crassostrea virginica y en Brachidontes recurvus, siendo menores en R. maritima. Los elementos restantes tuvieron concentraciones menores que los anteriores y una menor variabilidad. El Cu se encontró en concentraciones elevadas para C. virginica, la cual disminuyó en los demás organismos; en cuanto al Co C. virginica y R. maritima fueron los que presentan las concentraciones más elevadas y por último el Ni fué el menos abundante de todos. Las concentraciones más elevadas de este metal se determinaron en R. maritima.

Las concentraciones de metales tóxicos se especifican en la tabla 14. El ostión Crassostrea virginica y los pastos marinos R. maritima fueron los organismos que presentaron las concentraciones más elevadas de los tres metales analizados (Cr, Cd y Pb), disminuyendo en los demás organismos.

TABLA 14. CONCENTRACION DE METALES (ppm) EN RIDA DE LA
LAGUNA LA MANCHA, VER. (OCT 92 - AÑO 93).

ORGANISMO	LOCALIDAD	Ni				Co				Cu			
		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
<u>Crassostrea virginica</u>	2	0.55		4.41	2.57	8.26		0.76	6.93	12.18		534.43	444.43
<u>Crassostrea virginica</u>	3	1.55	2.28	4.41	4.41	2.46	5.50	N.D.	4.88	166.87	334.58	275.06	191.82
<u>Brachidontes recurvus</u>	1	0.55				3.91				154.09			
<u>Brachidontes recurvus</u>	3		2.94	6.98	3.30		1.17	0.18	4.88		11.82	7.94	17.62
<u>Isoponos alatus</u>	2	0.55			7.72	3.91			4.88	9.56			14.72
<u>Ruppia maritima</u>	3	3.03	29.07			8.25	14.46			10.08	11.81		
<u>Ruppia maritima</u>	4	1.67		11.77		9.70	5.60			10.08		23.43	
<u>Penaeus sp</u>	3	0.76				1.02				27.84			
<u>Penaeus sp</u> (exoesqueleto)	-		1.46				5.19					65.04	
<u>Penaeus sp</u> (súsculo)	-		2.57				N.D.					24.40	

ORGANISMO	LOCALIDAD	Zn				Mn				Fe			
		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
<u>Crassostrea virginica</u>	2	896.15		674.44	716.69	89.00		53.52	61.98	617.83		1242.10	611.5
<u>Crassostrea virginica</u>	3	848.07	689.32	689.59	689.39	60.73	61.90	64.80	78.35	574.43	974.88	961.82	437.88
<u>Brachidontes recurvus</u>	1	817.45				49.47				458.01			
<u>Brachidontes recurvus</u>	3		188.44	180.80	13.21		71.57	110.51	88.55		745.95	1321.36	683.72
<u>Isoponos alatus</u>	2	775.78			698.43	121.07			129.69	795.90			1407.40
<u>Ruppia maritima</u>	3	78.35	71.73			1030.61	955.84			3548.07	2538.25		
<u>Ruppia maritima</u>	4	73.52		172.11		1039.17	93.41			3006.47		2026.60	
<u>Penaeus sp</u>	3	89.82				7.73				76.97			
<u>Penaeus sp</u> (exoesqueleto)	-		81.54				27.00					173.61	
<u>Penaeus sp</u> (súsculo)	-		112.22				11.20					116.76	

ORGANISMO	LOCALIDAD	Cr				Pb				Cd			
		OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO	OCT	FEB	MAY	AGO
<u>Crassostrea virginica</u>	2	3.98		5.74	4.19	2.53		3.38	3.66	1.99		1.24	1.24
<u>Crassostrea virginica</u>	3	2.49	5.74	3.41	10.35	3.02	2.53	3.63	3.93	1.22	1.24	1.24	1.24
<u>Brachidontes recurvus</u>	1	3.99				3.53				1.80			
<u>Brachidontes recurvus</u>	3		4.19	3.44	3.41		0.94	1.92	1.18		0.46	0.54	0.54
<u>Isoponos alatus</u>	2	2.44			8.04	2.82			2.63	1.24			0.37
<u>Ruppia maritima</u>	3	1.44	8.24			2.03	2.16			0.84	0.54		
<u>Ruppia maritima</u>	4	2.99		6.51		2.03	2.81			9.99		1.06	
<u>Penaeus sp</u>	3	2.99				1.53				1.13			
<u>Penaeus sp</u> (exoesqueleto)	-		N.D.				0.69					0.54	
<u>Penaeus sp</u> (súsculo)	-		3.41				0.94					0.54	

ANALISIS COMPLEMENTARIOS

Las concentraciones de materia orgánica de las cuatro localidades de esta laguna se enlistan en la tabla 15, se puede observar la variación entre las localidades y épocas muestreadas, pero con una concentración promedio similar en los tres primeros meses, la que aumentó en el último mes.

La concentración de carbonatos (Tabla 15) también se presentó con mucha variación con promedios mensuales muy variables.

En la tabla 15 se especifican los porcentajes de gravas, arenas, arcillas y limos que conforman los sedimentos de las 4 localidades de la laguna de La Mancha, para el mes de octubre de 1992.

**TABLA 15. ANALISIS COMPLEMENTARIOS DE LA LAGUNA
LA MANCHA, VER. (OCT. 92 - AGO. 93)**

CONCENTRACION (%) DE MATERIA ORGANICA

LOCALIDAD	OCT	FEB	MAY	AGO
1	4.57 %	2.48 %	3.07 %	4.77 %
2	4.57 %	2.40 %	2.18 %	4.90 %
3	2.88 %	4.64 %	2.65 %	5.31 %
4	2.58 %	5.00 %	4.83 %	6.47 %
MEDIA	3.60 %	3.63 %	3.13 %	5.36 %

CONCENTRACION (%) DE CARBONATOS

LOCALIDAD	OCT	FEB	MAY	AGO
1	8.033 %	8.35 %	6.42 %	7.08 %
2	8.028 %	23.13 %	21.20 %	10.20 %
3	12.850 %	19.92 %	15.42 %	6.42 %
4	22.490 %	15.12 %	12.85 %	7.06 %
MEDIA	12.850 %	16.83 %	13.97 %	7.68 %

GRANULOMETRIA DE OCTUBRE 1992

LOCALIDAD	GRAVA (%)	ARENA (%)	ARCILLA (%)	LIMO (%)
1	0.140	11.270	34.90	53.690
2	0.437	8.963	79.69	10.910
3	2.583	89.030	2.68	5.707
4	0.200	22.610	63.69	13.500

4.4. LAGUNA MANDINGA

En la laguna de Mandinga se colectaron sedimentos en dos meses (Febrero y Agosto de 1993) y organismos en uno (Agosto 1993) con el fin de comparar los resultados con los de las tres lagunas anteriores, ya que la Laguna Mandinga está situada a mayor distancia de la Planta Nucleoeléctrica Laguna Verde y es influenciada sobre todo por las descargas urbanas e industriales del puerto de Veracruz.

Las concentraciones de metales esenciales en forma total y biodisponible se encuentran enlistadas en la tabla 16.

Las concentraciones de metales esenciales y tóxicos detectadas en Crassostrea virginica y Brachidontes recurvus durante el mes de agosto de 1993 se presentan en la tabla 17.

Por último con el fin de determinar el grado de relación entre los metales, sedimentos, carbonatos y materia orgánica; se elaboraron las tablas 18, 19 y 20 en las que se especifican dichas correlaciones para las lagunas Salada, El Llano y La Mancha, respectivamente.

Tabla 16. CONCENTRACION DE METALES (ppm) EN SEDIMENTO DE LA LAGUNA HANBINGSA, VER. (FEB. - AGO. 93)

LOCALIDAD	FRACCION	Ni		Co		Cu		Zn		Mn		Fe	
		FEB	AGO	FEB	AGO	FEB	AGO	FEB	AGO	FEB	AGO	FEB	AGO
1	1	11.72	44.18	20.19	21.51	42.36	41.51	56.14	78.92	544.18	925.44	9153.93	13103.78
	2	2.20	4.77	7.05	19.20	7.94	6.98	8.53	9.21	400.18	698.47	726.74	464.06
2	1	19.85	28.76	20.48	27.31	48.21	55.26	57.26	86.72	481.82	618.14	7646.87	7786.55
	2	3.30	1.83	7.12	23.39	7.94	N.D.	7.15	9.61	300.10	280.92	726.74	361.06
3	1	--	33.11	--	27.50	--	55.66	--	80.25	--	1404.60	--	13295.86
	2	--	1.83	--	25.33	--	N.D.	--	8.93	--	274.71	--	419.45
MEDIA 1		15.79±	35.35±	20.34±	25.44±	45.29±	50.81±	56.70±	81.96±	513.00±	982.73±	8399.94±	11395.40±
D.E. 1		5.75	7.95	0.21	3.40	4.14	8.06	0.79	4.17	44.09	393.35	1064.99	3126.83
E.E. 1		2.88	3.98	0.11	1.70	2.07	4.03	0.40	2.09	22.05	196.68	532.50	1563.42
MEDIA 2		2.75±	2.81±	7.08±	22.61±	7.94±	2.33±	7.84±	9.25±	350.14±	418.03±	726.74±	414.88±
D.E. 2		0.78	1.70	0.05	3.12	0.00	4.03	0.97	0.34	70.77	242.88	0.00	51.65
E.E. 2		0.39	0.85	0.03	1.56	0.00	2.02	0.49	1.17	35.39	121.44	0.00	25.83
LIMITE DE DETECCION		0.14		0.16		0.13		0.036		0.07		0.15	

LOCALIDAD	FRACCION	Cd		Cr		Pb	
		FEB	AGO	FEB	AGO	FEB	AGO
1	1	1.03	1.01	47.13	38.09	56.14	74.41
	2	0.19	0.19	8.84	7.29	8.53	10.61
2	1	1.10	1.08	64.57	32.10	57.26	71.58
	2	0.19	0.37	11.16	5.74	7.15	9.28
3	1	--	2.07	--	36.69	--	73.31
	2	--	0.37	--	6.51	--	9.12
MEDIA 1		1.06	1.39	55.85	35.63	55.21	72.77
D.E. 1		0.05	0.59	12.33	3.13	0.56	1.47
E.E. 1		0.03	0.30	6.17	1.57	0.28	0.74
MEDIA 2		0.19	0.31	10.00	6.51	8.96	9.67
D.E. 2		0.09	0.10	1.64	0.77	0.47	0.82
E.E. 2		0.00	0.05	0.82	0.39	0.24	0.41
LIMITE DE DETECCION		0.025		0.13		0.27	

1 - FRACCION TOTAL; 2 - FRACCION BIODISPONIBLE;
D.E. - DESVIACION ESTANDAR; E.E. - ERROR ESTANDAR.

TABLE 17. CONCENTRACION DE METALES (ppm) EN BIOTA DE LA
LAGUNA MANDINGA, VER. (AGOSTO 1993).

ORGANISMO	LOCALIDAD			
		Ni	Co	Cu
<u>Crassostrea virginica</u>	1	2.57	2.77	127.95
<u>Crassostrea virginica</u>	3	3.30	4.88	128.92
<u>Brachidontes recurvus</u>	3	3.30	2.77	11.81
		Zn	Mn	Fe
<u>Crassostrea virginica</u>	1	110.34	64.24	817.39
<u>Crassostrea virginica</u>	3	107.53	81.55	1333.65
<u>Brachidontes recurvus</u>	3	21.85	78.34	1164.64
		Cr	Pb	Cd
<u>Crassostrea virginica</u>	1	3.41	2.89	1.06
<u>Crassostrea virginica</u>	3	4.19	2.89	1.24
<u>Brachidontes recurvus</u>	3	4.69	1.18	0.72

TABLA 18. COEFICIENTES DE CORRELACION (r_{ij} n = 4) DE
 CONCENTRACIONES PROMEDIO EN SEDIMENTOS DE LA
 LAGUNA SALADA, VER. (OCT 92 - ABO 93)

	Mi	Mi	Cu	Cu	Cu	Cu	Zn	Zn	Pb	Pb	Fe	Fe	Cd	Cd	Cr	Cr	Pb	Pb
	total	biof																
MO	0.21	0.60	0.74	0.52	0.28	0.46	0.22	0.39	0.70	-0.01	-0.12	-0.29	0.41	-0.20	-0.01	0.01	0.32	0.49
CA	0.69	0.93	-0.01	-0.21	-0.19	-0.35	-0.59	-0.40	0.39	-0.70	0.63	0.39	-0.03	0.60	0.33	0.02	-0.34	0.25
AR	0.05	0.02	0.59	0.71	-0.36	-0.88	-0.33	0.55	-0.42	-0.72	-0.56	0.44	0.03	0.75	0.15	-0.99	0.23	0.75
ER	-0.26	-0.25	-0.73	-0.51	0.20	0.90	0.19	-0.41	0.22	0.59	0.37	-0.64	-0.90	-0.90	-0.41	0.03	0.03	-0.02
AC	0.49	0.40	0.02	0.23	0.01	-0.86	0.92	0.22	0.01	-0.40	-0.13	0.81	0.09	0.99	0.67	-0.74	-0.34	0.02
LI	-0.14	-0.10	-0.46	-0.02	0.29	0.90	0.27	0.27	0.22	0.57	0.40	-0.54	0.07	-0.03	-0.28	0.96	-0.11	-0.78
Mi(tot)	-0.65	-0.42	-0.72	-0.05	-0.44	-0.89	-0.74	-0.38	-0.44	0.00	0.07	-0.00	0.57	-0.21	0.18	-0.86	0.22	
Mi(bio)	-0.07	0.63	-0.40	-0.41	-0.70	-0.59	0.10	-0.54	0.72	0.66	0.53	0.52	0.01	0.57	-0.13	-0.03		
Cu(tot)	0.92	0.64	0.94	0.78	0.90	0.66	0.66	-0.74	-0.79	0.79	-0.77	-0.29	0.11	0.79	0.57			
Cu(bio)	0.00	0.95	0.94	0.97	0.74	0.37	-0.09	-0.94	0.96	-0.75	-0.03	0.12	0.97	0.71				
Zn(tot)	0.69	0.90	0.76	0.02	0.16	-0.70	-0.03	0.97	-0.43	0.43	0.33	0.95	0.89					
Zn(bio)	0.92	0.99	0.51	0.75	-0.92	-0.94	0.03	-0.92	-0.92	-0.34	-0.06	0.00	0.42					
Pb(tot)	0.97	0.56	0.62	-0.99	-0.99	0.94	-0.01	-0.43	-0.11	0.98	0.60							
Pb(bio)	0.35	0.70	-0.96	-0.90	0.09	-0.09	-0.23	-0.13	0.93	0.52								
Fe(tot)	-0.19	-0.40	-0.50	0.01	-0.12	0.51	0.76	0.72	0.96									
Fe(bio)	-0.74	-0.40	0.32	-0.95	-0.79	-0.76	0.45	-0.24										
Cd(tot)	0.99	-0.90	0.00	0.19	0.29	-0.92	-0.44											
Cd(bio)	-0.91	0.05	0.12	0.19	-0.96	-0.53												
Cr(tot)	0.74	0.13	0.66															
Cr(bio)	0.63	0.54	-0.68	-0.07														
Pb(tot)	0.10	0.72																
Pb(bio)	0.75																	

MO = MATERIA ORGANICA

CA = CARBONATOS

AR = ARENA

ER = GRASA

AC = ARCILLA

LI = LIMO

TABLA 19. COEFICIENTES DE CORRELACION ($r_{10} = 4$) DE
 CONCENTRACIONES PROMEDIO EN SEDIMENTOS DE LA
 LAGUNA EL LLANO, VER. (OCT 92 - ABO 93)

	Ni	Ni	Co	Co	Cu	Cu	Zn	Zn	Mn	Mn	Fe	Fe	Cd	Cd	Cr	Cr	Pb	Pb
	total	biol																
MO	-0.39	-0.10	0.91	0.53	-0.54	-0.09	-0.78	0.65	0.75	0.71	-0.31	-0.36	0.26	0.97	-0.25	-0.46	0.21	0.00
CA	0.64	-0.78	-0.21	0.47	-0.28	-0.25	0.86	0.56	-0.53	-0.72	-0.08	-0.07	0.79	-0.39	-0.07	-0.62	0.47	0.53
AR	-0.45	-0.84	0.86	-0.44	-0.24	-0.23	0.87	0.65	-0.29	-0.79	-0.42	-0.78	0.71	-0.64	-0.60	-0.93	0.87	0.79
ER	0.69	0.42	0.13	-0.21	0.94	0.97	0.10	-0.52	0.27	0.21	0.77	0.84	-0.54	0.44	0.71	0.45	0.35	-0.45
AC	-0.43	-0.14	-0.79	0.94	-0.54	-0.28	-0.67	0.16	-0.41	0.19	-0.46	0.05	0.10	-0.08	-0.38	0.31	-0.79	-0.01
LI	0.56	0.82	-0.72	-0.30	0.03	-0.41	-0.74	-0.76	0.84	0.89	0.46	0.30	-0.71	0.80	0.57	0.67	0.55	-0.61
Ni(tot)	-0.38	0.04	-0.32	-0.91	-0.54	-0.36	-0.86	0.37	0.39	0.96	0.97	-0.88	0.69	0.95	0.12	0.39	-0.79	
Ni(biol)	0.09	-0.89	0.65	-0.26	-0.75	-0.91	0.50	0.63	0.67	0.67	-0.99	0.21	0.65	0.48	-0.86	-0.99		
Co(tot)	-0.31	-0.81	-0.48	0.32	0.30	0.91	0.80	0.10	0.04	0.05	0.23	0.16	-0.63	0.55	-0.16			
Co(biol)	-0.81	0.30	0.67	0.99	-0.12	-0.22	-0.78	-0.80	0.95	-0.37	-0.75	-0.52	0.03	0.83				
Cu(tot)	-0.38	-0.66	-0.27	-0.66	-0.46	-0.43	-0.36	-0.11	-0.71	-0.49	0.90	-0.93	-0.03	0.83				
Cu(biol)	-0.95	0.17	-0.51	-0.34	-0.82	-0.79	0.29	-0.94	-0.26	0.66	-0.94	0.23						
Zn(tot)	-0.25	-0.05	-0.29	-0.10	-0.13	0.75	-0.05	-0.92	-0.31	0.71	0.76							
Zn(biol)	-0.89	-0.25	-0.74	-0.74	0.94	-0.26	-0.67	-0.61	0.15	0.26								
Mn(tot)	0.99	0.35	0.30	-0.38	0.26	0.39	-0.33	0.43	-0.56									
Mn(biol)	0.30	0.25	-0.50	0.89	0.33	-0.09	0.21	-0.69										
Fe(tot)	0.99	-0.72	0.86	0.99	0.33	0.64	-0.61											
Fe(biol)	-0.73	0.84	0.89	-0.08	0.55	-0.61												
Cd(tot)	-0.26	-0.70	0.74	0.05	0.96													
Cd(biol)	0.87	-0.58	0.90	-0.15														
Cr(tot)	-0.18	0.64	-0.60															
Cr(biol)	-0.87	-0.47																
Pb(tot)	0.08																	

MO = MATERIA ORGANICA
 CA = CARBONATOS
 AR = ARENA
 ER = GRASA
 AC = ANEXILLA
 LI = LIMO

TABLA. 20 COEFICIENTES DE CORRELACION (r_{ij} = 4) DE
 CONCENTRACIONES PROMEDIO EN SEDIMENTOS DE LA
 LAGUNA LA MANCHA, VER. (OCT 92 - ABO 93)

	Ni	Ni	Co	Co	Cu	Cu	Zn	Zn	Mn	Mn	Fe	Fe	Ca	Ca	Cr	Cr	Pb	Pb
	total	bio																
MO	-0.84	0.67	0.85	-0.01	-0.66	-0.28	-0.03	0.11	-0.01	-0.38	-0.23	-0.27	-0.36	-0.11	-0.44	-0.94	0.44	0.29
CA	-0.61	-0.52	-0.62	-0.47	0.59	0.77	-0.03	0.34	-0.44	0.03	-0.03	0.05	0.14	-0.19	0.02	0.89	-0.72	-0.48
AR	0.53	-0.95	0.91	-0.64	0.26	-0.56	-0.89	-0.65	0.05	0.11	0.64	0.78	0.19	-0.99	0.67	-0.53	-0.10	-0.07
GR	0.66	-0.86	0.77	-0.65	0.80	-0.43	-0.82	-0.81	0.97	0.22	0.54	0.75	-0.99	-0.99	0.56	-0.39	-0.28	-0.02
AC	-0.93	0.70	-0.77	0.11	-0.76	0.15	0.55	0.50	0.52	0.44	-0.95	-0.30	-0.07	0.02	-0.94	0.83	0.32	-0.47
LI	0.29	0.60	-0.62	0.98	0.71	0.04	0.74	0.39	-0.89	-0.68	0.33	-0.91	0.53	0.58	0.27	-0.31	-0.30	0.83
Ni(tot)	0.79	-0.11	0.17	-0.86	-0.61	-0.73	-0.78	0.25	0.69	0.80	0.76	-0.66	0.87	0.61	-0.22	0.02	-0.31	
Ni(bio)	-0.54	-0.36	-0.99	-0.62	-0.76	-0.24	-0.31	0.20	0.45	0.45	-0.92	0.30	0.07	-0.47	-0.22	-0.47		
Co(tot)	-0.06	-0.22	-0.68	0.39	0.53	-0.10	-0.78	-0.69	-0.71	-0.01	-0.59	-0.80	-0.91	0.50	0.52			
Co(bio)	0.23	-0.34	0.47	-0.37	0.63	0.23	0.03	0.03	0.01	0.63	0.69	0.63	-0.27	0.04	0.73			
Cu(tot)	0.67	0.77	0.37	0.17	-0.32	-0.53	-0.52	0.88	-0.39	-0.18	0.39	0.14	0.48					
Cu(bio)	0.05	0.25	-0.36	0.68	-0.01	0.05	0.25	-0.16	0.10	0.91	-0.62	-0.39						
Zn(tot)	0.42	0.39	-0.64	-0.81	-0.85	0.91	-0.78	-0.49	-0.29	0.66	0.88							
Zn(bio)	-0.65	-0.91	-0.85	-0.88	0.14	-0.90	-0.93	-0.12	-0.19	0.10								
Mn(tot)	0.35	0.16	0.08	0.57	0.22	0.49	-0.23	0.81	0.68									
Mn(bio)	0.97	0.95	-0.30	0.95	0.98	0.48	-0.22	-0.45										
Fe(tot)	0.99	-0.54	0.99	0.90	0.41	-0.35	-0.61											
Fe(bio)	0.44	0.97	0.88	0.46	-0.43	-0.68												
Ca(tot)	-0.53	-0.12	0.01	0.59	0.78													
Ca(bio)	0.70	0.27	-0.22	-0.51														
Cr(tot)	0.47	-0.09	-0.31															
Cr(bio)	-0.71	-0.41																
Pb(tot)	0.94																	

MO = MATERIA ORGANICA

CA = CARBONATOS

AR = ARENA

GR = GRASA

AC = ARCILLA

LI = LIMO

5. DISCUSION

5.1. LAGUNA SALADA

En esta laguna son dos las principales fuentes de entrada de materia orgánica (los bancos de organismos en la laguna y vegetación circundante), la cual al igual que los carbonatos se presenta en concentraciones bajas (Fig. 2 y 3), puesto que los bancos ostrícolas que existían han cesado su productividad y por lo mismo ha disminuído su número y tamaño. Del mismo modo la vegetación circundante a la laguna está muy disminuída y perturbada, con un escaso aporte. Lo cual se debe en gran parte a las altas concentraciones de sales de la laguna y a la construcción del canal de descarga de agua de enfriamiento de la planta nucleoelectrónica, de la Comisión Federal de Electricidad.

Los valores de las concentraciones de los nueve metales analizados no se relacionan con las concentraciones de materia orgánica puesto que sólo se obtuvieron coeficientes de correlación iguales y menores de 0.7. En cambio la relación de estos metales con los carbonatos fué positiva para el Ni y Cr biodisponibles y negativa para el Cd total (Tabla 18).

SEDIMENTOS

De las concentraciones totales de metales, obtenidas en los sedimentos de esta laguna, el Fe y el Mn se presentaron más

abundantemente (Tabla 1); lo cual es una respuesta a que estos metales son muy abundantes en la corteza terrestre (Hurley, 1985; Rankama and Sahama, 1962; Longwell and Flint, 1983; Gass et al., 1974). En cuanto al comportamiento de ellos, se observó que el Mn aumentó sus niveles en los meses de mayo y agosto con respecto a octubre y febrero. Las concentraciones de los metales presentan un comportamiento muy heterogéneo y al compararlas estadísticamente se encontró que entre los diferentes meses de muestreo hay diferencias significativas, a excepción de octubre con febrero y mayo con agosto como se observa en la tabla 1. El Fe que fué más abundante que el Mn, presentó también una gran heterogeneidad con diferencias estadísticamente significativas entre octubre y los tres meses restantes, lo cual es muy evidente al observar que el primer mes tiene concentraciones 2 o 3 veces mayores a los otros meses que entre sí tienen un comportamiento muy similar y sin diferencias significativas. Las elevadas concentraciones de fierro, además de su abundancia en la corteza terrestre, está determinada por un transporte considerable de este metal por ríos al océano, de aproximadamente 9.9×10^8 toneladas métricas por año y un también alto transporte atmosférico (Westall and Stumm, 1980). Aunado a ésto se han detectado altas concentraciones de residuos de fierro en las descargas de las ciudades (Sung, et al; 1986) y teniendo en cuenta que altos porcentajes de estos contaminantes son transportados a las lagunas costeras el fierro va siendo acumulado en los sedimentos, en igualmente altas proporciones. En cuanto al manganeso, su producción en el mundo ha aumentado en gran escala en las últimas décadas, llegando a

FIG. 2 CONCENTRACION PROMEDIO (%) DE MATERIA ORGANICA EN SEDIMENTOS.

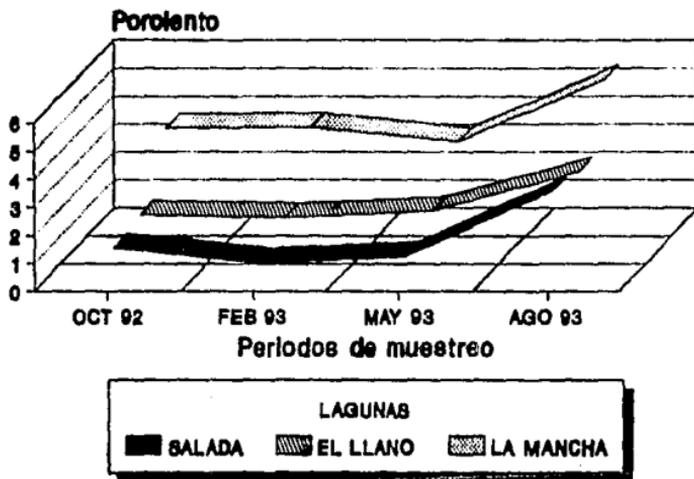
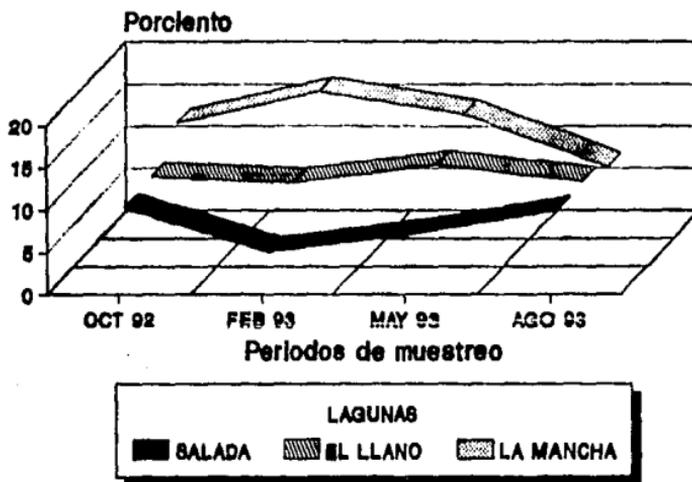


FIG. 3 CONCENTRACION PROMEDIO (%) DE CARBONATOS EN SEDIMENTOS.



ser en los años recientes de 30×10^6 toneladas métricas por año (US Minerals Yearbooks, 1930-1989), por lo que las descargas de desechos de manganeso son también muy altas y hay acumulación en sedimentos.

Después del Fe y el Mn, los metales más abundantes fueron el Zn y el Pb, y en ambos casos la concentración menor se presentó en octubre, con una diferencia estadísticamente significativa con los otros tres meses (Fig. 4). El Zn presentó un comportamiento muy uniforme en los tres últimos muestreos, lo cual es atribuible a las lluvias que se presentaron en dichos meses (de forma inconstante), causando el arrastre a la laguna. El Pb presentó concentraciones con diferencias significativas entre todos los meses a excepción de mayo con agosto, que también presentaron un patrón de distribución muy uniforme entre las cuatro localidades analizadas, lo que indica una distribución regular en toda la laguna. Las cantidades de Pb en la laguna están influenciadas en gran parte por las emisiones antropogénicas ya que se estima que de la emisión total de Pb el 98 % es de origen antropogénico (Nriagu, 1989). Un comportamiento similar lo presentó el Cd ya que en mayo y agosto se mantuvieron las concentraciones más altas. Durante los cuatro meses analizados se obtuvo una desviación estándar baja lo que indica una homogeneidad entre las localidades por una distribución uniforme de este metal (Tabla 2).

Así, también el Cr, Co y Cu registraron los niveles más altos en los meses de mayo y agosto, los cuales no

presentaron una distribución uniforme (Tablas 1 y 2) de un mes a otro. En cambio de una estación a otra el comportamiento es más uniforme (Nortes - Oct. y Feb., Secas - Mayo y Lluvias - Agosto). En cuanto a la concentración de estos metales no existe un patrón muy definido en la distribución entre las localidades a excepción del Cr en la localidad 2 (Tabla 2), en donde presentó las concentraciones mayores, debido tal vez al constante aporte de masas de agua de enfriamiento empleadas en la planta nucleoelectrica Laguna Verde.

El Ni se encontró en un intervalo muy heterogéneo y muy diferente al de los metales anteriores, éste metal presenta niveles altos en el mes de octubre que disminuye en febrero y mayo, para aumentar nuevamente en el último mes (Tabla 5). El níquel presentó concentraciones con diferencia estadísticamente significativa entre todos los meses, a excepción de febrero con agosto. El mayor aporte de Ni a la laguna se detectó en octubre lo que puede estar influenciado por los aportes atmosféricos y arrastres por la lluvia que se presentó en este período.

El aumento de las concentraciones de Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Zn y Mn para los meses que se consideran en las épocas de secas (Mayo) y de lluvias (Agosto), pueden ser debidas a que en este año, las temporadas no estuvieron muy marcadas ya que en el mes de mayo se presentaron lluvias con cierta regularidad, al igual que en el mes de agosto (pero en este último con más intensidad); contrario a lo predecible la laguna tuvo un nivel de profundidad

bastante bajo de alrededor de 1.20 m a 20 cm, lo que fue provocado por una tasa de evaporación alta, ya que la temperatura del agua osciló entre 39 y 39.5° C por lo que los metales se acumularon en los sedimentos.

Con respecto a las concentraciones biodisponibles de los metales en los sedimentos de esta laguna, se tiene que nuevamente el Fe es el que tiene los valores más altos, al igual que el Mn lo cual está en relación con las grandes cantidades en que se presentan estos elementos en forma total en la corteza terrestre (Hurley, 1985; Rankama and Sahama, 1982; Longwell and Flint, 1983; Gass *et al.*, 1974). El Fe mantiene el mismo comportamiento que en su forma total ya que las concentraciones más altas se determinaron en octubre, disminuyeron en febrero, y fueron muy bajas en mayo y agosto (Tabla 1), teniendo una diferencia significativa el mes de octubre con los meses restantes. Tomando como el 100 % la concentración promedio de la fracción total del metal por mes, se calculó un porcentaje de biodisponibilidad con la concentración biodisponible promedio por mes con el fin de observar con claridad la relación existente entre las dos fracciones de cada metal; para el caso del Fe se encontró que el porcentaje más alto fué de 23.7 % durante el mes de octubre.

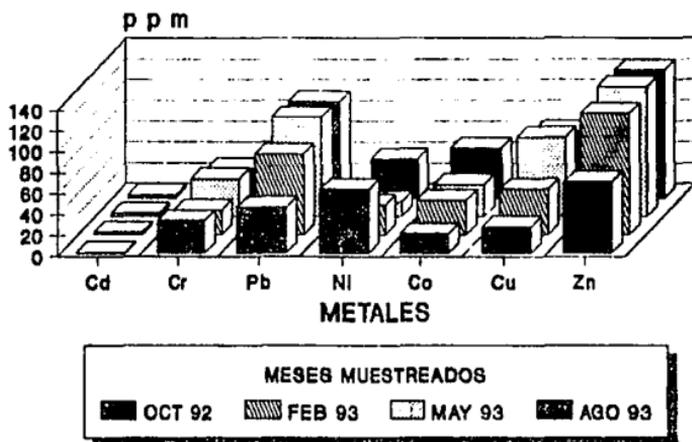
El Mn presentó mucha heterogeneidad ya que en cada mes hubo altas y también bajas concentraciones sin una distribución uniforme en las localidades, por lo que la desviación estándar es alta en los cuatro meses (Tabla 1). Los porcentajes de

biodisponibilidad, calculados de la misma manera que los anteriores indicaron que el más alto fué en el mes de febrero con 81.8 %. Esto indica una alta disponibilidad de Mn en la laguna (Tabla 1) para los organismos, ya que ha quedado bien establecida la importancia de este metal en la activación de algunos sistemas enzimáticos (Smith, 1951; Mounter and Chanutin, 1953), además de intervenir en los procesos del desarrollo y reproducción (Fortescue, 1979).

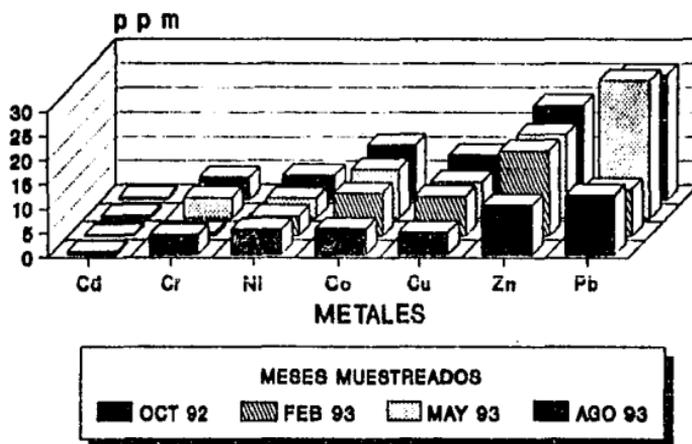
En concentraciones más bajas se encontró Zn, Cu, Co y Ni con poca variabilidad en los valores a lo largo de los cuatro meses, siendo sólo un poco menores las de octubre en Co, Cu y Zn (Fig. 5); también entre las localidades se notó poca variación, lo que indica una distribución homogénea de los metales en la laguna.

Dentro de los metales tóxicos el Pb fué el más abundante y el más heterogéneo, con diferencias significativas entre los meses de muestreo con la excepción de octubre con febrero y mayo con agosto; mientras que el Cr y Cd presentaron concentraciones menores (Figura 5). Dichas concentraciones se mantuvieron muy uniformes en los cuatro meses, con excepción de mayo para el Cr en donde en tres estaciones no se detectó el metal y por lo tanto disminuyó la concentración global (Fig. 5). Al jerarquizar los porcentajes de biodisponibilidad se obtuvo lo siguiente :

**FIG. 4 CONCENTRACION PROMEDIO DE METALES
 TOTALES EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA
 SALADA, VER. (OCTUBRE 92 - AGOSTO 93)**



**FIG. 5 CONCENTRACION PROMEDIO DE METALES
 BIODISPONIBLES EN SEDIMENTOS DE LA
 LAGUNA SALADA, VER. (OCT 92 - AGO 93)**



CADMIO:

OCT (65%) > FEB (16%) > MAY (15%) > AGO (12%)

CROMO:

AGO (16%) > OCT (12%) > MAY (11%) > FEB (3%)

PLOMO:

MAY (29%) > OCT (27%) > AGO (27%) > FEB (12%).

Según lo anterior aunque el cadmio es el que se encuentra en menores concentraciones en su forma total, puede alcanzar un alto porcentaje de biodisponibilidad, como en el caso del mes de octubre, haciéndolo más abundante en forma disponible para los organismos. Esto lo hace altamente peligroso, ya que se ha determinado que su presencia en ambientes marinos disminuye la capacidad de sobrevivencia de larvas y estadios juveniles de peces, moluscos y crustáceos (Forstner and Wittman, 1979).

Por otra parte, los datos de granulometría indican que en las cuatro localidades de la laguna el sedimento está formado por arenas en un alto porcentaje (Tabla 4). Sin embargo en general las concentraciones más altas, aunque no con grandes diferencias, se encuentran en las localidades 1 y 2 lo cual puede ser debido a que ambos sitios se encuentran en un área pequeña y cercana a la desembocadura del agua de enfriamiento empleada en la planta nucleoelectrónica, lo cual significa aportes constantes de grandes masas de agua que llegan directamente a estas dos localidades y no permiten el depósito de sedimentos de

grano fino, como los limos y las arcillas (Fig. 1).

En cuanto a las correlaciones de los metales con las arenas se observó para el Cd total una correlación positiva (Tabla 18); con una relación negativa se presentaron el Cu y Cr biodisponibles. Aunque los sedimentos son arenosos, en la tabla 18 se observa que el Co, Zn, y Cd totales y Cu, Fe, Cr y Pb biodisponibles tienen correlación positiva con los limos y las arcillas.

La relación que existe entre las concentraciones de los nueve metales analizados es importante ya que dependiendo de su afinidad pueden actuar como antagonicos o sinérgicos. En este estudio se correlacionaron todos los metales entre sí y entre sus dos fracciones (Tabla 18), encontrando las siguientes relaciones significativas :

NEGATIVAS		POSITIVAS	
Comparación	(r)	Comparación	(r)
Ni tot. - Cu tot.	(- 0.84)	Cu tot. - Cu bio.	(0.88)
Ni tot. - Zn tot.	(- 0.88)	Cu bio. - Co tot.	(0.84)
Ni tot. - Cd tot.	(- 0.80)	Co bio. - Co tot.	(0.92)
Ni tot. - Pb tot.	(- 0.86)	Co bio. - Cu tot.	(0.95)
Fe tot. - Co bio.	(- 0.89)	Zn tot. - Co bio.	(0.95)
Fe tot. - Cu bio.	(- 0.92)	Zn tot. - Cu tot.	(0.88)
Fe tot. - Zn tot.	(- 0.98)	Zn tot. - Cu bio.	(0.92)
Fe tot. - Zn bio.	(- 0.96)	Zn bio. - Co tot.	(0.90)
Fe tot. - Pb tot.	(- 0.92)	Zn bio. - Co bio.	(0.97)
Fe tot. - Cd tot.	(- 0.90)	Zn bio. - Cu bio.	(0.99)
Fe bio. - Cu tot.	(- 0.83)	Zn bio. - Zn tot.	(0.97)
Fe bio. - Cu bio.	(- 0.94)	Mn tot. - Cu tot.	(0.82)
Fe bio. - Zn tot.	(- 0.99)	Fe tot. - Ni tot.	(0.88)
Fe bio. - Zn bio.	(- 0.98)	Fe bio. - Ni tot.	(0.87)
Fe bio. - Pb bio.	(- 0.96)	Fe bio. - Fe tot.	(0.99)
Fe bio. - Co bio.	(- 0.94)	Cd tot. - Co bio.	(0.96)
Mn bio. - Cd bio.	(- 0.95)	Cd tot. - Cu bio.	(0.83)

Comparación	(r)	Comparación	(r)
Cd bio. - Cu bio.	(- 0.91)	Cd tot. - Zn bio.	(0.89)
Cd bio. - Zn tot.	(- 0.81)	Cd tot. - Mn tot.	(0.81)
Cd bio. - Zn bio.	(- 0.89)	Cd tot. - Fe bio.	(0.90)
		Cd bio. - Fe tot.	(0.88)
		Cd bio. - Fe bio.	(0.85)
		Pb tot. - Co bio.	(0.97)
		Pb tot. - Cu tot.	(0.95)
		Pb tot. - Cu bio.	(0.88)
		Pb tot. - Zn tot.	(0.98)
		Pb tot. - Zn bio.	(0.93)
		Pb tot. - Cd tot.	(0.99)
		Pb bio. - Cu tot.	(0.89)
		Pb bio. - Mn tot.	(0.96)

Las correlaciones anteriores indican que hay amplias afinidades entre el comportamiento de los metales, siendo en la mayoría de los casos de forma positiva, pero también se presentan correlaciones negativas o antagónicas.

AGUA

De los resultados obtenidos en los análisis de agua el Fe y Mn fueron los únicos metales que se presentaron en concentraciones detectables ya que son muy abundantes en el medio (Westall and Stum, 1980; Sung, 1986). Estos metales son esenciales y presentan variaciones entre los diferentes meses de muestreo y las cuatro localidades como se observa en la tabla 3. En la Figura 6 se observa que durante los cuatro meses de muestreo, en promedio, el comportamiento del Mn fué uniforme, lo que implica una distribución homogénea en la laguna. No ocurre lo mismo en el Fe ya que las concentraciones promedio son ligeramente mayores durante octubre y febrero, que son los meses de nortes caracterizados por la presencia de fuertes vientos y lluvias constantes y por lo tanto hay mayores aportes

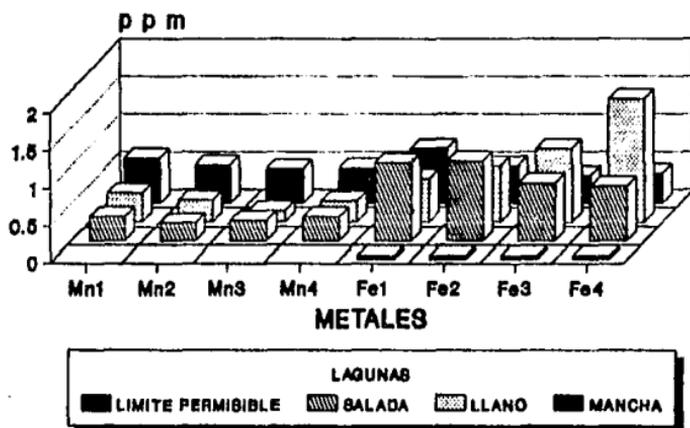
continentales de Fe al agua de la laguna, la diferencia de comportamiento de el Fe y el Mn se debe principalmente a que el primero se encuentra en cantidades mucho mayores por lo que son más fácilmente detectables las diferencias existentes de un mes a otro. En los cuatro meses la concentración de Fe se encontró muy por encima del límite permitido, que es de 0.05 ppm, lo que indica que son abundantes las cantidades de desechos de fierro, y las concentraciones naturales que llegan a la laguna (Fig. 6).

Por otra parte el Cd, Cr, Pb, Ni, Co, Cu y el Zn no fueron detectados ya que suspendidos en agua generalmente se encuentran en muy pequeñas cantidades (Moore, 1990) y en este caso el equipo empleado en la detección de los metales no tiene la sensibilidad suficiente.

BIOTA

En la laguna Salada solamente se colectó una especie, que fué Balanus sp., en febrero y en la localidad 2 (Tabla 4). En este organismo los metales Fe, Zn y Mn presentaron las más altas concentraciones, este comportamiento está en relación con las altas concentraciones de estos metales encontrados en los sedimentos de la laguna y a que son metales esenciales, por lo que están presentes en el organismo y son necesarios para su desarrollo. El Fe generalmente es muy abundante en el medio y la captación de él por los organismos invertebrados es rápida (Vymazal, 1984), pero en la mayoría de los casos no es tóxico a los organismos o lo es moderadamente en organismos sensibles.

FIG. 6 CONCENTRACION PROMEDIO DE METALES EN AGUA (OCT 92 - AGO 93).

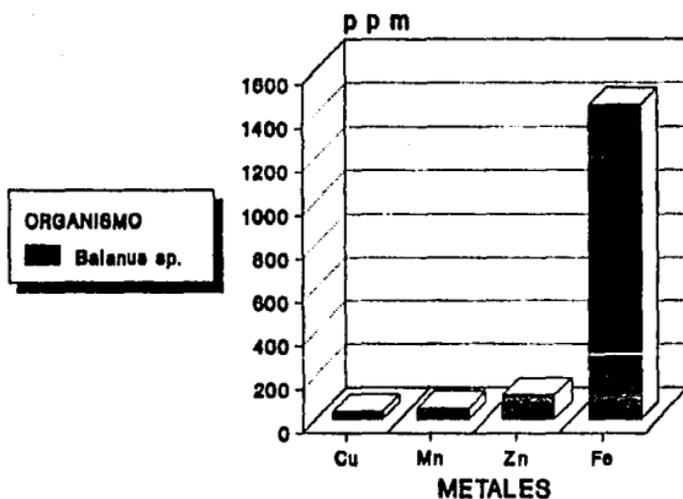
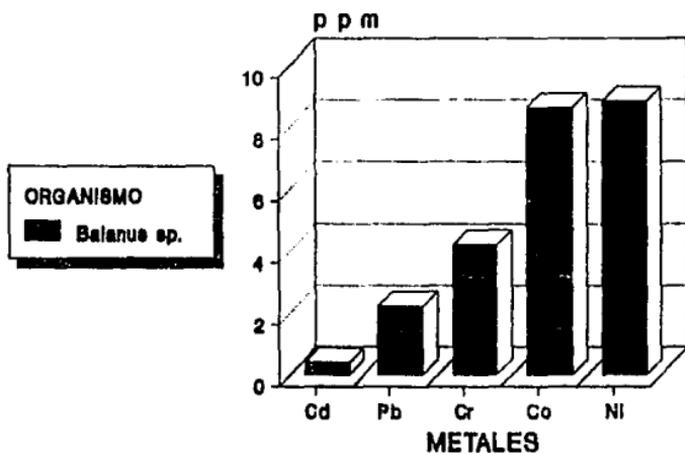


1 - OCT 2 - FEB
3 - MAY 4 - AGO

En cuanto al Zn, en invertebrados se han detectado concentraciones de 50 a 500 ppm (Moore, 1990), por lo que las concentraciones detectadas en Balanus sp. son bajas y no representan riesgo de toxicidad; para el Mn se presenta el mismo fenómeno ya que tiene baja toxicidad en invertebrados. Los elementos esenciales restantes (Cu, Ni y Co) se encuentran en concentraciones más bajas, ya que naturalmente son menos abundantes y hay menores aportes de ellos a la laguna; el Cu es muy tóxico para algunos invertebrados y esta toxicidad se acentúa en los organismos juveniles y en muchas especies la respuesta puede ser muy dañina en los juveniles (Harrison et al., 1984), lo que podría impedir el desarrollo normal de la población en ésta laguna en particular; en relación a el Ni, éste es uno de los agentes inorgánicos menos tóxicos para los invertebrados (Moore, 1990), por lo que se supone no representa riesgo para el Balanus sp.

En cuanto a los elementos tóxicos el Cr fué el más abundante y su toxicidad es muy variable ya que depende de un gran número de factores fisicoquímicos y biológicos (Moore, 1990), en este caso la concentración de Cr se encuentra dentro de un intervalo relativamente bajo y no representa riesgo para los organismos adultos. Después de el Cr el más abundante fué el Pb y por último el Cd (Fig. 7). El Pb tiene un alto potencial de toxicidad y tiene como efecto la reducción de la capacidad reproductiva (US Environmental Protection Agency, 1985). En el caso del Balanus sp. no sobrepasa el límite permitido, pero se aproxima, lo cual puede afectar a la población existente en la laguna; en cuanto al Cd, su toxicidad varia dependiendo del

**FIG. 7 CONCENTRACIONES DE METALES EN
BIOTA DE LA LAGUNA SALADA, VER.
(FEBRERO DE 1993)**



grupo taxonómico y de los factores fisicoquímicos del medio, en el caso del Balanus sp de ésta laguna la concentración fue baja y menor al límite permitido para organismos marinos (FAO, 1983).

Las concentraciones obtenidas fueron bajas tanto para metales esenciales como tóxicos y se mantuvieron bajo los límites máximos permitidos por las diferentes organizaciones; para el Cr, el Pb y el Cd se calculó el factor de concentración, obteniéndose la siguiente jerarquización :

Cd (0.19) > Cr (0.15) > Pb (0.03)

Con estos datos se puede observar que aunque el Cd se encuentre en menores concentraciones, al tener el más alto factor de concentración se hace más peligroso para los organismos, que los elementos que están más concentrados en los sedimentos; ya que además de disminuir la capacidad de sobrevivencia de larvas y estadios juveniles de moluscos y crustáceos (Forstner and Wittman, 1979); altera la capacidad reproductiva de los adultos (GESAMP, 1985). El factor de concentración alto del Cd está en razón de que la eliminación del mismo en algunas especies es muy lenta y al existir constantemente en el medio la acumulación se aumenta (Ray and McLeese, 1987).

5.2. LAGUNA EL LLANO

Las concentraciones de materia orgánica en esta laguna fueron muy similares los tres primeros meses de muestreo.

aumentando hasta 3 % en el último mes (agosto), en el cual se presentaron lluvias que arrastraron materia orgánica de los alrededores de la laguna (Figura 2).

En relación a los carbonatos, en la figura 3 se observa que el mes con mayor concentración es mayo con 11.2% como promedio, manteniéndose los otros tres meses más bajos, pero sin mucha diferencia. Aunque se observa cierta homogeneidad entre los promedios de los meses muestreados, el comportamiento entre las localidades es muy heterogéneo, ya que cambian muy drásticamente de una a otra (Tabla 10), lo que indica que hubo una determinada dinámica en la laguna que determinó una distribución de los carbonatos sin un patrón específico,

De los nueve metales solamente se encontró que el Co total y el Cd biodisponible tienen una correlación positiva con la materia orgánica; mientras que para los carbonatos fueron el Zn total y el Pb biodisponible los que tienen una relación positiva (Tabla 19).

SEDIMENTOS

En esta laguna las concentraciones totales en los sedimentos son muy heterogéneas en todos los casos, lo que indica que los aportes de metales a la laguna no tienen un patrón de comportamiento similar.

El Fe y Mn son los que se encuentran en concentraciones mayores de los nueve metales analizados, lo que está en

relación con que son de los elementos más abundantes en forma natural en la corteza terrestre (Hurley, 1985; Rankama, and Sahama, 1962; Longwell and Flint, 1983; Gass *et al.*, 1974). La concentración de Fe total en el mes de octubre, presentó diferencias estadísticamente significativas con los tres meses restantes (Tabla 8). Esto indica que el principal aporte de este metal se presentó en el mes de octubre, y el cual pudo ser debido a las descargas de desechos industriales y urbanos de fierro al océano (Sung *et al.*, 1986) y por el alto transporte atmosférico (Westall and Stumm, 1980). En relación al Mn, no se encontró diferencia significativa entre las concentraciones de octubre con agosto y febrero con mayo, lo que puede estar determinado porque en estos meses al disminuir las lluvias es menor el arrastre de residuos de Mn, los cuales se incrementan nuevamente con el aumento de las lluvias en agosto.

Como se ve en la figura 8, el Cu presentó un comportamiento muy homogéneo ya que no presentó concentraciones con diferencias estadísticamente significativas, indicando aportes regulares de Cu a la laguna, lo cual está en relación con que el Cu es un metal abundante en los desechos de las ciudades; Moore (1990) estima que las descargas antropogénicas de Cu son hasta de 90×10^3 toneladas métricas por año.

Después de el Fe y el Mn los metales más abundantes fueron el Zn y el Pb. El Zn presentó concentraciones con diferencias estadísticamente significativas entre todos los meses a excepción de octubre con agosto, lo cual puede estar en relación con el

cambio climático, ya que en octubre y agosto se presentaron más constantes las lluvias. En cuanto al Pb, presentó un comportamiento muy heterogéneo puesto que tiene concentraciones con diferencias significativas entre todos los meses de muestreo, las concentraciones de Pb en la laguna El Llano están influenciadas por las emisiones antropogénicas ya que Nriagu (1989) estimó que el 96 % de las emisiones totales de plomo tienen un origen antropogénico.

El Ni es el elemento esencial que más variaciones presentó a lo largo de los cuatro muestreos; octubre fué el mes que presentó la más alta concentración promedio (Fig. 8) y por lo cual presentó diferencia estadísticamente significativa con los tres meses restantes. Las altas concentraciones de Ni en octubre pueden estar causadas por las lluvias, que facilitan el arrastre de las partículas continentales hacia la laguna.

El Cd, Co y Cr fueron los metales con los niveles más bajos y un comportamiento uniforme, con los valores más elevados en agosto.

En las localidades 3 y 4 se registraron las concentraciones más altas para todos los elementos en octubre y febrero, mientras que en agosto en la localidad 1 se registraron los datos más altos para Cd, Cr, Pb, Ni, Co, Cu, Mn y Fe. Por último en mayo la localidad 2 presentó las concentraciones más altas de Cd, Cr, Ni, Co, Cu y Fe (Tablas 6 y 7). Este comportamiento está en relación a la dinámica de la

laguna, ya que las localidades 3 y 4 se ubican en la parte más alejada de la boca, por lo cual se puede inferir que el movimiento y la circulación en la columna de agua es mínima en relación con las demás áreas de la laguna. En los meses de mayo y agosto el nivel de agua de la laguna fué muy bajo, lo que permitió una mayor concentración de los metales en las dos primeras estaciones (Figura 1).

Tomando en cuenta los valores promedio de los metales por épocas, se obtuvo que para la época de secas (mayo) el Cd y el Zn presentaron su valor más alto, en tanto que en la época de nortes (octubre y febrero) los metales que predominaron fueron Cr, Ni y Fe. El Co, Cu, Pb y Mn lo fueron en el período de lluvias (agosto). Es importante hacer notar que el comportamiento de acuerdo a los períodos climáticos es muy inesperado ya que se presentaron concentraciones altas cuando se esperaban que fueran bajas; esto se explica si se tiene en cuenta que el clima no se presentó con una marcada estacionalidad. Así en mayo que se considera como dentro de la época de secas llovió con regularidad, y en agosto las lluvias no fueron constantes y se mantuvo una temperatura promedio de 31° C, con lo que se propició la disminución del nivel de agua de la laguna, secándose las áreas en las que se encontraban las localidades 3 y 4. Estas alteraciones climáticas influyen grandemente el patrón de comportamiento y la distribución de los metales, ya que al aumentar las lluvias el arrastre de partículas continentales hacia la laguna son mayores y con la elevación de la temperatura y

el viento el transporte de aerosoles aumenta, originando un desequilibrio en el sistema lagunar en relación a sus condiciones naturales.

La concentración biodisponible de los metales, es la que está más fácilmente disponible para la biota acuática y representa la porción de metales que fueron inicialmente intemperizados o introducidos en las descargas inducidas por el hombre; por otra parte esto también puede derivarse desde los iones que se liberan cuando se perturban las condiciones originales del compuesto metálico (Goldberg, 1976).

En relación a las concentraciones biodisponibles de los metales de la laguna El Llano, el Fe fué el más abundante. Este comportamiento es esperado ya que está en relación a las concentraciones totales obtenidas para el metal. La concentración promedio más alta se presentó en octubre y disminuyó en los tres meses restantes (Tabla 6). En este metal el porcentaje de biodisponibilidad fué muy similar en los cuatro meses, siendo el más alto de 19.6 % para febrero. Después del fierro, el Mn es el siguiente en abundancia; este metal no guarda ninguna relación en su comportamiento con las concentraciones totales, puesto que en agosto y octubre obtuvo las concentraciones más elevadas y las más bajas en mayo y febrero. En cuanto a sus porcentaje de biodisponibilidad, en los cuatro meses se mantuvo igual y superior a 50%, llegando en febrero a 62% lo que nos indica concentraciones biodisponibles altas para la biota en relación a las concentraciones totales de

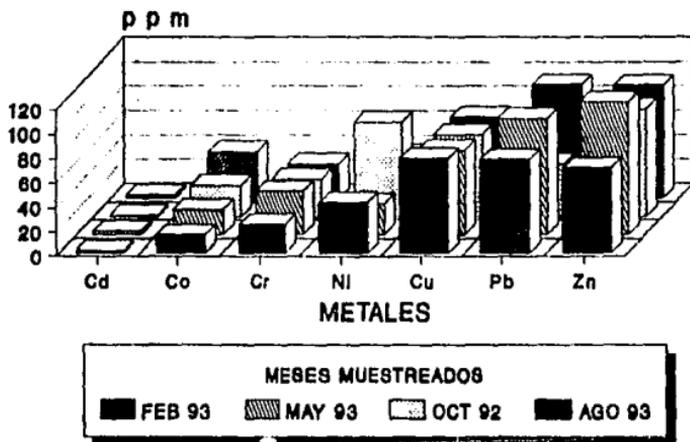
este metal.

El Zn, Co y Ni mantuvieron un comportamiento muy similar entre sí; todos estos metales presentaron una concentración promedio baja en octubre, aumentó en febrero y en mayo y agosto se obtuvieron las concentraciones más altas. Además se mantuvo un comportamiento similar entre las cuatro localidades con desviaciones estándar bajas en estos tres metales (Fig. 9).

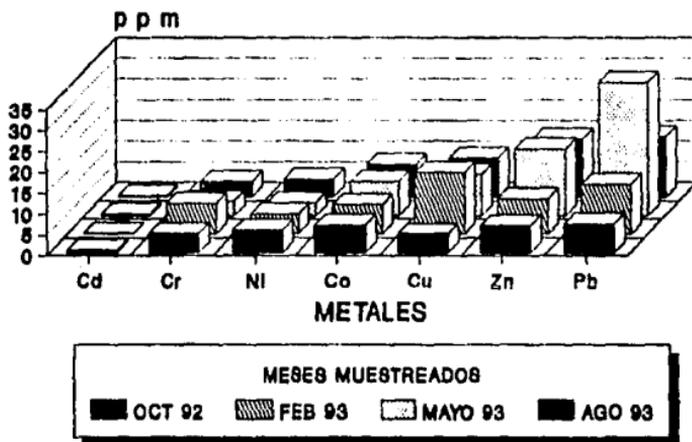
Con respecto a los metales tóxicos, el Pb fué el que se encontró en concentraciones más altas con un intervalo muy variable, con la concentración promedio más alta en mayo (Fig 9); con respecto al Cd y Cr las concentraciones fueron más bajas que para el Pb y menos variables, a excepción de febrero para el Cr, en donde aumentó su concentración promedio (Fig. 9). En los tres metales se registró una baja desviación estándar lo que indica un comportamiento regular entre las cuatro localidades (Tabla 7). El comportamiento de estos tres metales es heterogéneo entre los cuatro meses, pero hay cierta tendencia de aumento en los últimos dos meses, lo que puede estar influenciado por la alta evaporación presentada en la laguna durante mayo y agosto, lo que propició la desecación de las áreas en donde se encontraban las localidades 3 y 4.

Al hacer la jerarquización de los porcentajes de biodisponibilidad de los tres metales tóxicos, se encontraron las siguientes secuencias :

**FIG. 8 CONCENTRACION PROMEDIO DE METALES
 TOTALES EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA
 EL LLANO, VER. (OCT 92 - AGO 93)**



**FIG. 9 CONCENTRACION PROMEDIO DE METALES
 BIODISPONIBLES EN SEDIMENTOS DE LA
 LAGUNA EL LLANO, VER. (OCT 92 - AGO 93)**



CADMIO

OCT (58.6%) > MAY (18.5%) > AGO (18.1%) > FEB (12%)

PLOMO

MAY (35.6%) > FEB (20.8%) > AGO (18.8%) > OCT (6.7%)

CROMO

FEB (27.6%) > AGO (12.9%) > MAY (12.6%) > OCT (8.2%)

Con los datos anteriores se nota que el cadmio es el elemento tóxico que alcanza mayores porcentajes de biodisponibilidad con respecto a las concentraciones totales registradas en el medio; aunque se presente en concentraciones pequeñas, se encuentra más fácilmente disponible para los organismos, en comparación con los otros metales tóxicos analizados en este trabajo.

Al ser ésta laguna un cuerpo de agua semicerrado y somero (Fig. 1), la renovación de las masas de agua es muy lenta, por lo que es vulnerable a la presencia de contaminantes. Con base en lo anterior se deduce que aunque las concentraciones de metales totales sean altas, esto no significa que están totalmente disponibles para los organismos y sólo algunos metales tienen alta biodisponibilidad en determinadas épocas.

Con respecto a la granulometría de la laguna, en la tabla 10 podemos ver que hay mucha diferencia entre las cuatro localidades; la primera es predominantemente arenosa, la segunda y la cuarta son lodosas (arcillas + limos) y por último la

tercera presenta gravas y lodos. En los dos primeros meses, cuando la laguna presentó mayor profundidad y se pudieron muestrear las cuatro localidades se ve que las concentraciones más altas de metales se presentan en las localidades 3 y 4, lo cual puede estar en relación a su ubicación más lejana a la boca, con menores profundidades y por lo tanto con menor circulación de las masas de agua y sedimentos. La textura de los sedimentos determina en gran parte la concentración de los metales; esto ha sido observado tanto en sedimentos contaminados como en aquellos que no han recibido los efectos de las actividades humanas (Smith, 1973; De groot, 1977; Gibbs, 1977). En los dos últimos meses disminuyó el nivel de profundidad de la laguna; por tal razón sólo se muestrearon las localidades 1 y 2. Los resultados indicaron que las concentraciones de casi todos los metales analizados fueron similares en ambos sitios.

Los nueve metales analizados en la laguna El Llano, se correlacionaron entre sí y con sus fracciones totales y biodisponibles (Tabla 19); las relaciones más significativas fueron :

NEGATIVAS		POSITIVAS	
Comparación	(r)	Comparación	(r)
Ni tot. - Cu tot.	(- 0.91)	Ni tot. - Fe tot.	(0.96)
Ni tot. - Zn bio.	(- 0.86)	Ni tot. - Fe bio.	(0.97)
Ni tot. - Cd tot.	(- 0.88)	Ni tot. - Cr tot.	(0.95)
Ni bio. - Co bio.	(- 0.89)	Co tot. - Mn tot.	(0.91)
Ni bio. - Zn bio.	(- 0.91)	Co tot. - Mn bio.	(0.80)
Ni bio. - Cd tot.	(- 0.99)	Co bio. - Zn bio.	(0.99)
Ni bio. - Pb bio.	(- 0.99)	Co bio. - Cd tot.	(0.95)
Co tot. - Cu tot.	(- 0.81)	Co bio. - Pb bio.	(0.83)

Comparación	(r)	Comparación	(r)
Co bio. - Cu tot.	(- 0.81)	Cu tot. - Cr bio.	(0.90)
Co bio. - Fe bio.	(- 0.80)	Zn bio. - Cd tot.	(0.96)
Cu tot. - Pb tot.	(- 0.93)	Zn bio. - Pb bio.	(0.86)
Cu bio. - Zn tot.	(- 0.95)	Fe tot. - Fe bio.	(0.99)
Cu bio. - Fe tot.	(- 0.82)	Fe tot. - Cd bio.	(0.86)
Cu bio. - Cd bio.	(- 0.96)	Fe tot. - Cr tot.	(0.99)
Cu bio. - Cr tot.	(- 0.86)	Fe bio. - Cd bio.	(0.84)
Cu bio. - Pb tot.	(- 0.94)	Fe bio. - Cr tot.	(0.99)
Zn tot. - Cr tot.	(- 0.92)	Cd tot. - Pb bio.	(0.96)
Zn bio. - Mn tot.	(- 0.88)	Cd bio. - Cr tot.	(0.87)
Cr bio. - Pb tot.	(- 0.87)	Cd bio. - Pb tot.	(0.90)

Las correlaciones anteriores indican que algunos metales tienen comportamientos antagónicos o sinérgicos y que no en todos los casos actúan en forma independiente o aislada.

AGUA

De los análisis realizados para la columna de agua solamente fueron detectables las concentraciones de el Fe y el Mn. En la figura 6 se observa que las concentraciones de Fe mantienen un patrón de comportamiento relativamente uniforme y fueron aumentando de una estación a otra, las más altas se obtuvieron en mayo y agosto, lo cual se puede atribuir a que las lluvias que se presentaron en estos meses. Las lluvias facilitan el arrastre de las partículas continentales a la laguna, además en estos dos meses se presentó una alta evaporación, por lo que en las localidades 3 y 4 disminuyó mucho el nivel de agua y se concentraron los materiales disueltos en las dos primeras localidades. En los cuatro meses de muestreo las concentraciones fueron superiores al límite permisible (0.05 ppm), lo que está en relación con los grandes aportes de material continental que llega a la laguna por los dos ríos que descargan sus aguas en

ella, ya que la laguna es un cuerpo de agua semicerrado, muy somero y con poca circulación en la columna de agua. En cuanto a el Mn se encontró en concentraciones menores.

Los metales restantes (Cd, Cr, Pb, Ni, Co, Cu y Zn) no fueron detectados debido a las pequeñas cantidades en que se encuentran en suspensión (Moore, 1990) y a las cuales el aparato que se empleó en las lecturas no tuvo alcance.

BIOTA

En la laguna El Llano solamente se recolectó la especie Crassostrea virginica en los meses de febrero y mayo. En los tejidos del ostión se registraron los metales tóxicos, entre los cuales la concentración más alta correspondió al Cr en febrero, sobrepasando el límite legislado por el Departamento de Servicios Urbanos de Japón (5.0 ppm; Nauen, 1983). Con respecto al Pb la concentración más alta se presentó en mayo, la cual fue similar al límite permisible legislado por la Food Drug Administration (2.5 ppm; Nauen, 1983). La concentración más alta de Cd, se presentó en mayo y también sobrepasó el límite legislado por el Servicio Oficial de Inspección, Vigilancia y Regulaciones del Ministerio de Agricultura de España (1.0 ppm; Nauen, 1983).

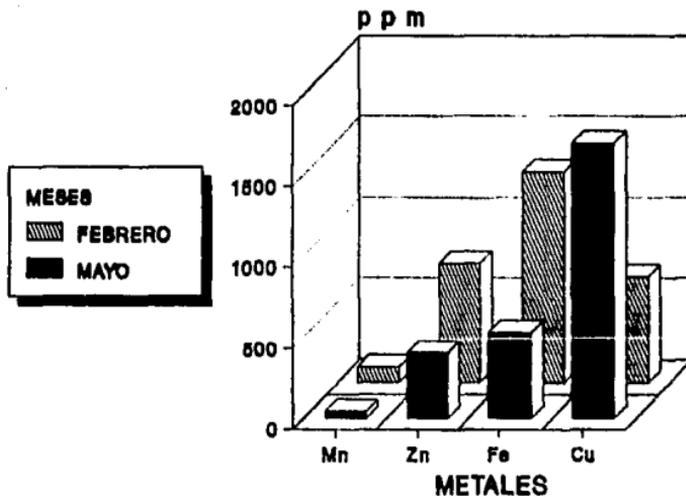
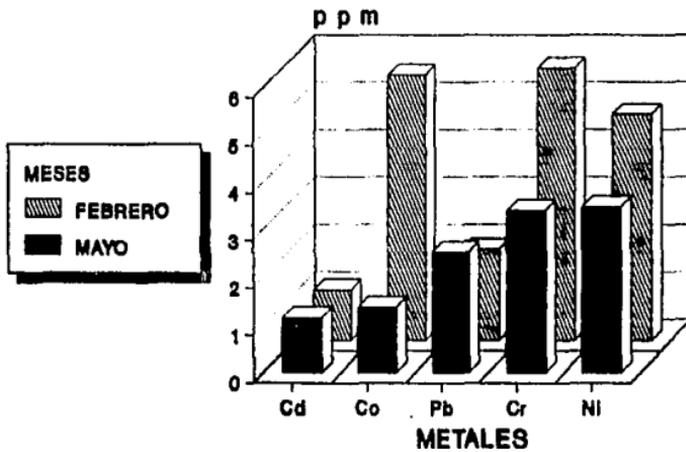
Para los metales anteriores se hizo una jerarquización de los factores de concentración y se obtuvo lo siguiente :

Cd (0.55) > Cr (0.16) > Pb (0.03)

Con estos datos se hace evidente la relativa facilidad de la acumulación de Cd en los tejidos del ostión, lo cual está relacionado con el alto porcentaje de biodisponibilidad que presentó este metal en los sedimentos y a que su eliminación en algunos invertebrados es muy lenta (Ray and McLeese, 1987). Estas características hacen que el cadmio, aunque se presente en bajas concentraciones, pueda ser altamente perjudicial a la biota ya que su presencia reduce la supervivencia de las larvas y juveniles y además disminuye la capacidad reproductiva de los organismos e inhibe la síntesis de proteínas (Forstner and Wittman, 1979; GESAMP, 1985; Viarengo *et al.*, 1980). Aunque el Cr tiene un FC menor que el Cd es el metal tóxico que se encuentra en concentraciones mayores. La toxicidad del Cr es muy variable, dependiendo de un gran número de factores fisicoquímicos y biológicos (Moore, 1990) y según Mance (1987) los moluscos marinos son relativamente poco sensibles al Cr. Por último, el Pb es el metal tóxico con el más alto potencial de toxicidad y tiene como efecto la reducción de la capacidad reproductiva (US Environmental Protection Agency, 1985).

En relación a las concentraciones para metales esenciales, el Ni, Co, Zn, Mn y Fe presentaron sus concentraciones más altas en febrero (Fig. 10), a diferencia de estos el Cu aumentó en mayo (Fig. 10). Este comportamiento se explica debido a que se presenta una alta concentración biodisponible en los sedimentos de la laguna uno y/o dos meses antes, con lo que se encuentran más fácilmente disponibles para los organismos. De los metales

FIG.10 CONCENTRACIONES DE METALES EN *Crassostrea virginica* DE LA LAGUNA EL LLANO, VER. (FEBRERO Y MAYO DE 1993)



esenciales analizados el que presentó una elevada acumulación en el tejido del ostión *C. virginica* fué el Zn (734 ppm), mientras que la más alta registrada en el sedimento fué de 115 ppm. Este metal es rápidamente distribuído entre los organismos bentónicos, principalmente en los ostiones, y tiene gran importancia en los sistemas bioquímicos, actuando sobre todo a nivel enzimático (Valle, 1963); además Schelske (1964) demostró que los ostiones tienden a acumular el Zn lo cual se considera importante en relación al balance geoquímico de este metal en el ecosistema lagunar.

5.3. LAGUNA LA MANCHA

Es importante hacer notar que ésta laguna presentó las concentraciones de materia orgánica más altas (Fig. 2), de las cuales un gran aporte se debe al arrastre desde las áreas circundantes ya que en ellas hay grandes extensiones de pastos y mangle principalmente. Estos niveles fueron muy similares en los tres primeros meses, aumentando en agosto en donde se presentó el período de lluvias.

En relación a los carbonatos, también se presentaron las concentraciones más altas en esta laguna (Fig. 3), en parte porque la Laguna La Mancha es la que tiene la mayor producción de bivalvos y camarones, con lo que hay aportes de carbonatos.

Al correlacionar las concentraciones de materia orgánica y

carbonatos, con los nueve metales en sus dos fracciones, se obtuvo que para la materia orgánica solo hay una relación positiva con el Co total y negativa con Ni total y Cr biodisponible; los carbonatos se relacionaron únicamente en forma positiva con Cu y Cr biodisponibles (Tabla 20).

SEDIMENTOS

De las concentraciones totales de metales de esta laguna, las del Fe y del Mn fueron más abundantes. El Fe tuvo un comportamiento muy heterogéneo, ya que el primer mes presentó concentraciones muy altas, disminuyendo hasta un 80% para los subsecuentes meses. El Mn en cambio presentó mucho menos variación (Tabla 11). En cuanto al comportamiento de ambos metales por localidades, en octubre las localidades 1 y 2 mostraron los más elevados niveles, por lo que se puede inferir que principalmente en este mes, los aportes de Fe y Mn ingresan a la laguna desde mar abierto, con las corrientes del Golfo. En los tres meses restantes los metales se distribuye más uniformemente en la laguna y se acumulan en los sedimentos de las localidades 3 y 4 con lenta circulación por estar más alejadas de la boca. No es sorprendente que las concentraciones de estos dos metales sea alta, si se tiene en cuenta que son los metales más abundantes en forma natural en la corteza terrestre (Hurley, 1986; Rasmussen and Sahama, 1982; Longwell and Flint, 1983; Gass et al., 1974).

De los metales esenciales restantes el Zn y Cu presentaron un comportamiento muy similar a lo largo de los cuatro meses;

aumentaron de octubre a mayo y disminuyeron en agosto. La distribución de Cu en la laguna es relativamente uniforme, presentó concentraciones máximas en las diferentes estaciones, de un mes a otro. Para el Zn la concentración más elevada se encuentra en las localidades 1 y 2 durante los cuatro periodos de muestreo. Se podría inferir que el Zn es retenido con mayor facilidad por los sedimentos lodosos que presentan las localidades 1 y 2. En cuanto al Ni y Co, presentaron concentraciones menores y en ambos metales la distribución es muy uniforme ya que las desviaciones estandar en los 3 primeros meses son bajas, aumentando ligeramente en agosto (Fig. 11). En el caso de ambos metales se observa que en las épocas de nortes y de lluvias se obtuvieron las concentraciones mayores y las mínimas en la época de secas, lo cual implica que hay aportes por arrastres de partículas continentales tanto por las lluvias como por los vientos.

Es importante hacer notar que el Zn, Cu, Ni y Co son metales esenciales y la presencia de ellos se debe en gran parte a los ligandos orgánicos liberados de la descomposición intensiva de la materia orgánica (Goldberg, 1970). De los metales tóxicos el Pb y el Cr fueron los que presentaron concentraciones mayores alcanzando el primero 92 ppm y el segundo 75 ppm (Tabla 12). El Pb presentó un comportamiento uniforme, con la mayor concentración promedio en agosto (Fig. 11), lo que se pudo deber al arrastre de las partículas continentales y de los residuos empleados para el cultivo de las tierras aledañas a la laguna, debido a las lluvias. También se puede atribuir a la influencia

del transporte atmosférico y a las corrientes marinas. El Cr presentó la concentración promedio más alta en octubre y disminuyó en los tres meses restantes; con un comportamiento más o menos homogéneo entre las localidades, lo que indicó una distribución muy similar en todas las áreas de la laguna, aunque por las corrientes, diferencias de profundidad y temperatura de la laguna, la distribución de los metales tienen ciertas variaciones.

El Cd se encontró en concentraciones bajas y muy similar en las cuatro localidades; presentó una distribución homogénea en la laguna (Fig. 11), por lo que se puede suponer que existe un aporte constante de Cd a la laguna, ya sea a través de rutas biogénicas y/o antropogénicas.

En lo que se refiere a las concentraciones biodisponibles de los metales, el Fe se registró con la mayor concentración en octubre (Tabla 11), lo que está en relación con las concentraciones registradas en forma total para este metal. El mayor porcentaje de biodisponibilidad se presentó en el mes de octubre con 13 %, lo cual era predecible ya que en este mes se presentan las concentraciones más altas en las dos fracciones. Esta elevada concentración de hierro está influida por la presencia de minerales detríticos que se encuentran unidos a las partículas de textura arenosa o bien a la precipitación de los metales en forma de óxidos de hierro por la presencia de carbonatos y de materia orgánica.

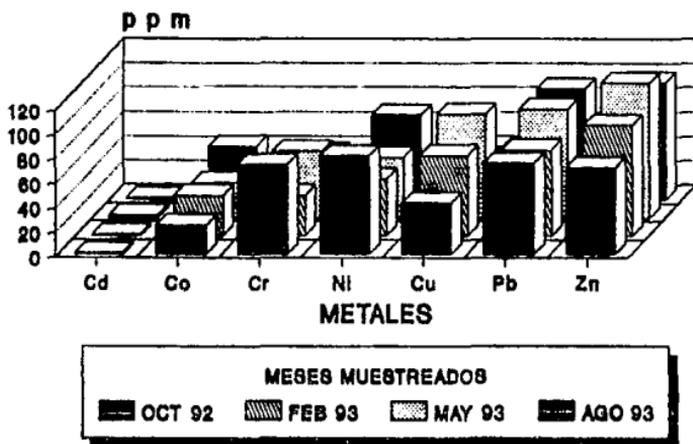
Otro metal que se encontró en forma abundante fué el Mn, las concentraciones fueron muy similares en los cuatro meses; el porcentaje más alto de biodisponibilidad se obtuvo en febrero (65.3 %), así este metal esencial por su abundancia en forma biodisponible es más accesible a los organismos.

Los restantes metales esenciales, tienen un comportamiento sin cambios muy drásticos entre los periodos de muestreo (Figura 12); además mantienen una distribución mas o menos uniforme en la laguna, lo que indica una disposición similar de los metales en la laguna.

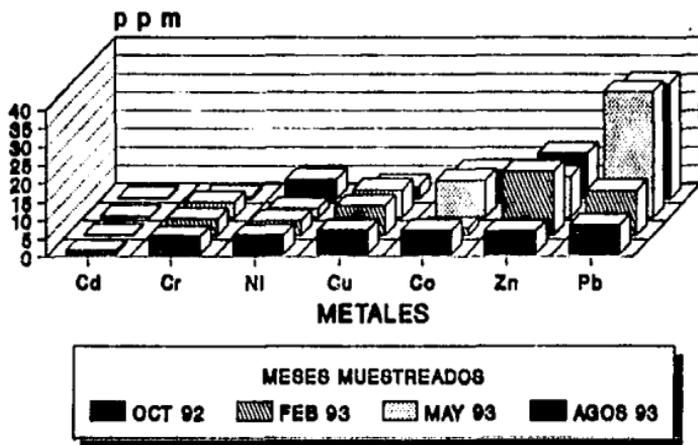
En relación a los metales tóxicos, el Pb registró las concentraciones más altas, con un marcado aumento en los meses de mayo y agosto, casi tres veces más elevados que en los dos primeros muestreos. Los otros dos metales tóxicos presentaron concentraciones menores y muy similares en los cuatro muestreos (Fig. 12), con una distribución uniforme a través de toda la laguna, con la excepción del mes de agosto, en el cual no se detectó Cr biodisponible en las localidades 1, 3 y 4 (Tabla 12).

Jerarquizando las fracciones biodisponibles de metales tóxicos biodisponibles en relación con las fracciones totales se obtiene lo siguiente :

**FIG.11 CONCENTRACION PROMEDIO DE METALES
 TOTALES EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA
 LA MANCHA, VER. (OCT 92 - AGO 93)**



**FIG.12 CONCENTRACION PROMEDIO DE METALES
 BIODISPONIBLES EN SEDIMENTOS DE LA
 LAGUNA LA MANCHA, VER. (OCT 92 - AGO 93)**



CADMIO:

OCT (84%) > AGO (25%) > MAY (15.5%) > FEB (12%)

PLOMO:

MAY (38.4%) > AGO (34.5%) > FEB (16.4%) > OCT (10.6%)

CROMO:

AGO (22.4%) > FEB (13.8%) > MAY (7.67%) > OCT (6.5%)

Es importante destacar que el Cd en forma biodisponible alcanza un porcentaje mayor al 80% en octubre. Esto puede tener efectos adversos sobre la biota, tanto en los adultos como en larvas y juveniles con la consecuente disminución en los volúmenes de capturas posteriores (Forstner and Wittman, 1979; GESAMP, 1985; Viarengo *et al.*, 1980). Aunque la presencia biodisponible de el plomo se encuentra en menores porcentajes, es el metal tóxico que se encuentra en mayor abundancia y al irse acumulando representa un riesgo potencial para la biota (Baker *et al.*, 1979; GESAMP, 1985).

Con respecto a los datos de granulometría, se observa en la tabla 15 que los sedimentos de la laguna son predominantemente lodosos, con excepción de la localidad 3 que tiene un alto porcentaje de arena. Sin embargo en la tabla 20 se puede observar que al correlacionar los lodos (arcillas + limos) con los metales, solamente las formas biodisponibles de Co, Cd, Cr y Pb tienen una relación positiva.

Al correlacionar los metales entre sí y en sus dos

fracciones, se puede ver que hay ciertas afinidades que los hacen que actúen sinérgicamente en algunos casos, mientras que en otros son antagónicos. De las relaciones entre los metales registrados en esta laguna las más significativas fueron las siguientes :

NEGATIVAS		POSITIVAS	
Comparación	(r)	Comparación	(r)
Ni tot. - Cu tot.	(- 0.86)	Ni tot. - Fe tot.	(0.80)
Ni bio. - Cu tot.	(- 0.99)	Ni tot. - Cd bio.	(0.87)
Ni bio. - Cd tot.	(- 0.92)	Co bio. - Pb tot.	(0.91)
Co tot. - Cr tot.	(- 0.80)	Cu tot. - Cd tot.	(0.88)
Co tot. - Cr bio.	(- 0.91)	Cu bio. - Cr bio.	(0.91)
Zn tot. - Fe tot.	(- 0.81)	Zn tot. - Cd tot.	(0.91)
Zn tot. - Fe bio.	(- 0.85)	Zn tot. - Pb bio.	(0.88)
Zn bio. - Mn bio.	(- 0.91)	Mn tot. - Pb tot.	(0.81)
Zn bio. - Fe tot.	(- 0.85)	Mn bio. - Fe tot.	(0.97)
Zn bio. - Fe bio.	(- 0.80)	Mn bio. - Fe bio.	(0.95)
Zn bio. - Cb bio.	(- 0.90)	Mn bio. - Cd bio.	(0.95)
Zn bio. - Cr tot.	(- 0.93)	Mn bio. - Cr tot.	(0.98)
		Fe tot. - Fe bio.	(0.99)
		Fe tot. - Cd bio.	(0.99)
		Fe tot. - Cr tot.	(0.90)
		Fe bio. - Cd bio.	(0.97)
		Fe bio. - Cr tot.	(0.88)
		Cd bio. - Cr tot.	(0.90)
		Pb tot. - Pb bio.	(0.94)

Las correlaciones anteriores indican que hay cierto tipo de afinidades entre los metales, por lo que pueden actuar en forma antagónica, sinérgica o en algunos casos sin efecto.

AGUA

En los análisis de la columna de agua de la laguna La Mancha no se detectaron los metales Cd, Cr, Pb, Ni, Co, Cu y Zn, por lo que se infiere que no permanecieron en la fase soluble, ni suspendidos en el agua en altas concentraciones y que por

diferentes procesos como la floculación coloidal, la absorción y la precipitación se han acumulado progresivamente en los sedimentos.

Los metales en disolución detectables fueron el Fe y el Mn; ambos presentaron las concentraciones más elevadas en el período de nortes y las más bajas en la época de secas y de lluvias (Fig. 8). La mayor concentración de Fe fué 0.09 ppm lo que duplica al límite permisible de 0.05 ppm. Las altas concentraciones de Fe y Mn en el agua están relacionadas con las grandes cantidades de los mismos en los sedimentos que ingresan a la laguna.

BIOTA

Para el análisis de metales en organismos de esta laguna, se recolectaron, durante los cuatro muestreos, diversos ejemplares de moluscos bivalvos (Crassostrea virginica, Brachidontes recurvus e Isognomon alatus), de crustáceos (Panopeus sp.) y de pastos marinos (Ruppia maritima), (Fig. 13).

Los valores de Cr presentaron una amplia variabilidad, tanto en los sitios de muestreo, como entre las épocas de recolecta de los organismos. Los valores más altos se presentaron en los bivalvos Crassostrea virginica (10 ppm) e Isognomon alatus (8 ppm), además de Ruppia maritima (8 ppm); las concentraciones más bajas correspondieron a los crustáceos Panopeus sp.

Para este metal los factores de concentración (FC) más altos

de Cr se encontraron en los siguientes organismos :

<u>Crassostrea virginica</u>	FC = 0.26	AGO
<u>Ruppia maritima</u>	FC = 0.26	AGO
<u>Isognomon alatus</u>	FC = 0.24	FEB

Las especies que sobrepasaron el límite máximo permisible de Cr legislado por el Departamento de Servicios Urbanos de Japón (5.0 ppm; Nauen, 1983) fueron C. virginica, I. alatus y R. maritima. Debido a que en México no existe una legislación para los límites máximos permisibles para el consumo humano de organismos marinos que contengan Cr, se consideró el límite establecido en Japón, con el fin de tener una referencia y poder comparar los resultados de este estudio.

La toxicidad del Cr es muy variable y depende de los factores fisicoquímicos y biológicos (Moore, 1990). En general los moluscos son empleados para el monitoreo de contaminantes y en el caso del Cr normalmente se encuentran concentraciones menores de 5 ppm (Moore, 1990). En el caso de la laguna La Mancha se detectaron concentraciones generalmente menores de 5 ppm en los moluscos, pero también se registraron hasta de 10 ppm, lo que puede deberse a que de los metales tóxicos el Cr fué el que registró las concentraciones más altas en sedimentos, tanto en forma total como biodisponible y si por algunos cambios del medio el metabolismo de los organismos se aceleró, siendo así que la captación del Cr se vió incrementada. Según Mance (1987), los moluscos tienen poca sensibilidad a los efectos del Cr, por lo que las concentraciones detectadas en estos organismos pueden no

representar riesgo.

El contenido de Pb de las especies analizadas fue muy similar entre sí; las concentraciones más altas se determinaron en los bivalvos Crassostrea virginica (3.9 ppm), Brachidontes recurvus (3.5 ppm) e Isognomon alatus (2.8 ppm) y en el pasto marino Ruppia maritima (2.8 ppm).

Para este metal todos los organismos presentaron un factor de concentración igual o menor a 0.04 lo que indica poca acumulación en proporción a las concentraciones registradas en los sedimentos; sin embargo, de los organismos analizados los bivalvos y el pasto marino sobrepasaron el límite permisible legislado por la Food Drug Administration (2.5 ppm; Nauen, 1983); los crustáceos Panopeus sp. fueron los únicos cuyo niveles de Pb se mantuvieron por debajo de este límite (Tabla 14). El Pb generalmente no se acumula en los tejidos de los organismos y en aguas no contaminadas o medianamente contaminadas, comúnmente se encuentra en concentraciones menores de 5.0 ppm (Hungspreugs et al., 1989; Pugsley et al., 1988; Lopez-Artiguez et al., 1989), por lo que los organismos de esta laguna se registraron concentraciones relativamente bajas, ya que algunos son de consumo humano y representan un peligro potencial de intoxicación.

En cuanto al Cd, la variación fue muy importante entre los organismos de esta laguna (81 %), oscilando entre 0.37 ppm para Isognomon alatus a 1.99 ppm para Crassostrea virginica con lo

que sobrepasó el límite permisible legislado por el Servicio Oficial de Inspección, Vigilancia y Regulación del Ministerio de Agricultura de España (1.0 ppm; Nauen, 1983).

En Cd los factores de concentración fueron más altos que en los dos metales anteriores. En los diferentes organismos de la laguna La Mancha el FC más alto en cada caso es el siguiente :

<u>Crassostrea virginica</u>	FC = 2.00	OCT
<u>Isognomon alatus</u>	FC = 1.70	AGO
<u>Brachidontes recurvus</u>	FC = 1.08	OCT
<u>Ruppia maritima</u>	FC = 1.00	MAY

De los datos anteriores se hace más evidente la alta acumulación del Cd en los organismos y aunque este elemento se presente en las menores concentraciones tanto en sedimentos como en los organismos, su alta biodisponibilidad y su alto factor de concentración lo hace mucho más peligroso, tanto para la biota como para el consumo humano. Los altos FC de Cd están en relación con la alta biodisponibilidad de este metal en el medio y a que en algunas especies la eliminación de dicho metal es muy lenta (Ray and McLeese, 1987).

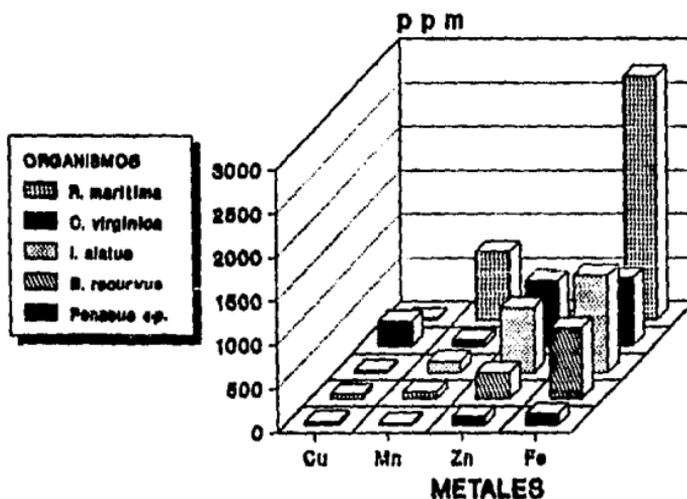
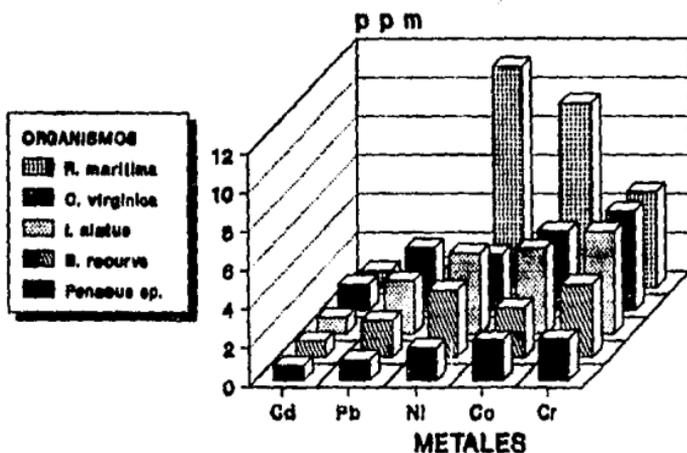
Para los elementos esenciales (Fig. 13) las mayores concentraciones de Ni, Co, Mn y Fe se determinaron en Ruppia maritima, posiblemente por la acumulación a nivel de las paredes celulares de las hojas, las cuales están directamente en contacto con los sedimentos. El Ni en los demás organismos se presentó en concentraciones más bajas, debido a que en los sedimentos se encontró en bajas concentraciones tanto en forma total como biodisponible; el Ni es uno de los agentes inorgánicos menos

tóxicos para los invertebrados, por lo que no representa riesgos (momentáneos) en los organismos de la laguna La Mancha. El Co en invertebrados marinos generalmente se presenta en concentraciones bajas, pero las concentraciones altas que se han registrado han sido en organismos sésiles como moluscos bivalvos y algunos crustáceos (Moore, 1990), el cobalto tiene una toxicidad moderada y mucho menor que la de Cd, la cual varía dependiendo de las especies. A causa de que el Co se encuentra generalmente en bajas concentraciones en la columna de agua, las naciones no han legislado límites permitidos en organismos acuáticos (Moore, 1990).

En estudios realizados en lagunas costeras (Pulich, 1980) se ha comprobado que el Fe y Mn son captados fácilmente por los sedimentos de manera que no se encuentran disponibles, en grandes cantidades, para los organismos de la laguna; sin embargo, las altas concentraciones detectadas en estos se deben a que la laguna es un sistema semicerrado con condiciones reductoras altas y el metal se podría presentar en forma de sulfitos insolubles (Giblin et al., 1980). Así, en la laguna La Mancha el Fe se encuentra en forma química disponible en los organismos, como lo demuestran los altos valores de Fe biodisponible en sedimentos de este ecosistema, además de que el Fe es un metal esencial para los organismos, siendo necesario para el funcionamiento del músculo (Kawai, 1959; Brooks and Rumsby, 1965).

Con respecto al Zn, éste presenta las concentraciones más altas en los moluscos bivalvos Crassostrea virginica, Isognomon alatus y Brachidontes recurvum; disminuye en los camarones

FIG.13 CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES EN BIOTA DE LA LAGUNA LA MANCHA, VER. (OCT 92 - AGO 93)



Penaeus sp. y en los pastos Ruppia maritima. En tejidos de invertebrados generalmente se encuentran concentraciones de 50 a 500 ppm y en casos excepcionales se han llegado a encontrar hasta 3000 ppm (Moore, 1990), por lo que las concentraciones encontradas en los organismos de esta laguna están dentro de un intervalo relativamente común; el Zn tiene una toxicidad relativamente baja, pero los efectos encontrados en diversos estudios indican que los organismos expuestos a Zn tienen una disminución progresiva en la habilidad osmoreguladora y pueden llegar a morir (Moore, 1990). En cuanto al Cu, mostró concentraciones altas en Crassostrea virginica y en Brachidontes recurvus y disminuyeron en Penaeus sp. en el cual es notoria la gran afinidad del Cu en el exoesqueleto en donde se obtuvieron concentraciones cuatro veces mayores que en el músculo. Esto indica que para el Cu hay una mayor acumulación y retención en la estructura que forma el exoesqueleto que en las fibras musculares de este crustáceo. El Cu es muy tóxico para algunos invertebrados y esta toxicidad se acentúa en los organismos juveniles y en muchas especies la respuesta puede ser muy perjudicial principalmente en los estadíos juveniles (Harrison et al., 1984).

5.4. DISCUSION GENERAL

Los análisis de los metales realizados en sedimentos y en la biota de la laguna de Mandinga, se hicieron con el fin de tener un punto de comparación en un cuerpo lagunar semejante a

los referidos en este estudio, ya que las características sedimentológicas y climáticas en general son más parecidas que con otras áreas del Golfo con las que también se realizará una comparación.

SEDIMENTOS

En las figuras 2 y 3 se observa que la laguna Salada tiene concentraciones menores de materia orgánica y carbonatos que la de El Llano y la de La Mancha, aunque no hay grandes diferencias entre dichas concentraciones. En esto también influyó el bajo nivel de agua que se presentó en el período de secas y lluvias (mayo y agosto). En la laguna Salada se capturó solamente una especie en un mes, lo cual tiene una estrecha relación con las altas salinidades reportadas y la elevación de la temperatura; tal aumento se puede atribuir al agua vertida en la laguna procedente de la Planta Nucleoeléctrica. Las altas temperaturas es uno de los factores que propician las migraciones de los organismos hacia las zonas más adecuadas, como respuesta a las necesidades de su desarrollo (Oliva, 1991).

Con respecto a las concentraciones totales de los metales esenciales, las más altas para Fe y Mn se presentaron en la laguna el Llano, en comparación con las lagunas La Mancha y Salada. Las concentraciones promedio máximas de Fe de estas lagunas fueron 2 y 3 veces más altas que las de Mandinga, lo que hace pensar que se encuentran en zonas con suelos altamente lateríticos y recibe, por medio de vientos y escurrimientos,

aportes mucho mayores de Fe. Así, las concentraciones de este metal son las más altas de los nueve analizados, que por estar en cantidades muy grandes se obviaron en las representaciones gráficas. En cuanto al Mn en las figuras 14 y 15 se observa que es el siguiente en abundancia en las tres lagunas. En comparación con Mandinga, solamente El Llano presentó concentraciones mayores, mientras que las otras dos lagunas se mantuvieron en niveles inferiores (Tabla 16). Las menores concentraciones tanto de Fe como de Zn en la laguna Salada se pueden deber a las altas concentraciones de arenas en el sedimento, a diferencia del sedimento de tipo lodoso de la laguna del Llano.

Como se observa en las figuras 14 y 15 el Zn y Co presentaron el mismo comportamiento en las tres lagunas, aunque fueron más abundantes en la laguna Salada y disminuyeron en las de La Mancha y El Llano. Ambos metales presentaron concentraciones más altas en las tres lagunas estudiadas, que en la laguna de Mandinga (Tabla 16).

Por último el Cu y Ni fueron más abundantes en la laguna La Mancha, siguiendo la laguna El Llano, después la laguna Salada, y finalmente la laguna Mandinga. Las concentraciones de Ni en la laguna La Mancha son muy significativas ya que son las más altas de las cuatro lagunas. El Ni forma parte de algunos petróleos crudos y se emplea como catalizador en los procesos de refinación del petróleo crudo, por lo cual se deduce que las altas concentraciones registradas en las lagunas (principalmente la Mancha) puede estar en relación entre otras causas con los

desechos de las lanchas y de las actividades humanas (Ramondetta and Harris, 1976; Khalaf *et al.*, 1982; Sadiq and Zaidi, 1985).

De las concentraciones totales de los metales esenciales se hicieron las siguientes jerarquizaciones de acuerdo a la máxima concentración promedio en ppm de cada metal :

LAGUNA SALADA

Fe (23,155) > Mn (493) > Zn (124) > Cu (75) > Ni (60) > Co (47)

LAGUNA EL LLANO

Fe (34,125) > Mn (1130) > Zn (108) > Cu (77) > Ni (77) > Co (38)

LAGUNA LA MANCHA

Fe (31,748) > Mn (668) > Zn (110) > Cu (84) > Ni (43) > Co (43)

LAGUNA MANDINGA

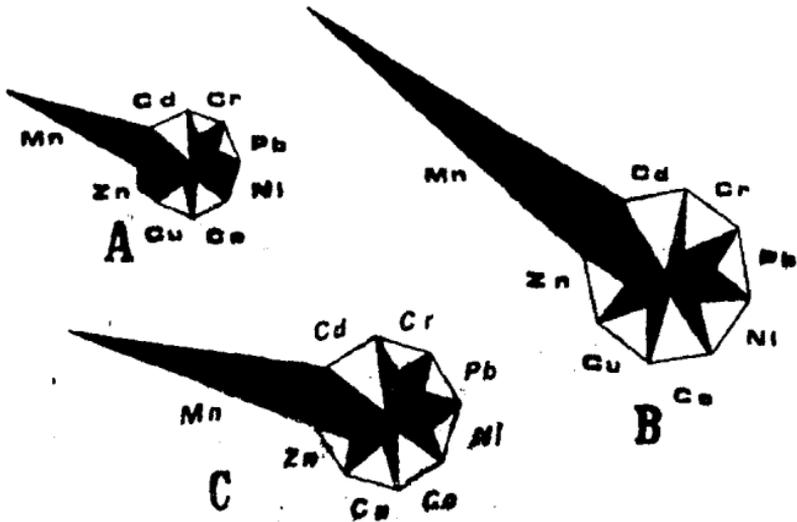
Fe (11,395) > Mn (982) > Zn (81) > Cu (50) > Ni (35) > Co (25)

Se puede observar que las cuatro lagunas tuvieron la misma secuencia en cuanto a abundancia de los metales, pero las mayores concentraciones de cada metal variaron dependiendo de la laguna :

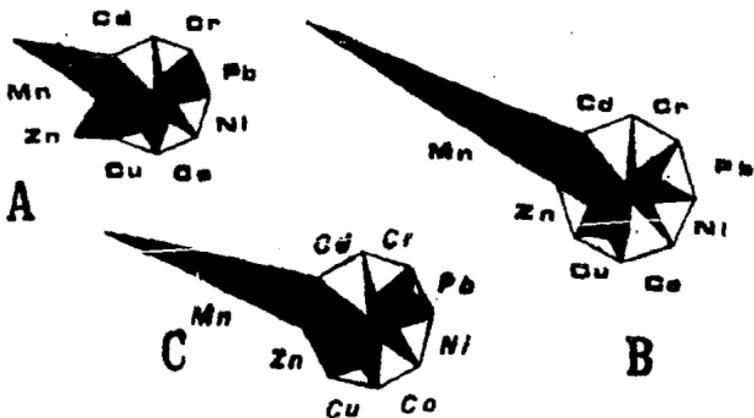
Zn y Co	:	Salada	>	Llano	>	Mancha	>	Mandinga
Cu y Ni	:	Mancha	>	Llano	>	Salada	>	Mandinga
Fe	:	Llano	>	Mancha	>	Salada	>	Mandinga
Mn	:	Llano	>	Mandinga	>	Mancha	>	Salada

En relación a las concentraciones totales de metales tóxicos en las cuatro lagunas se tuvo la siguiente secuencia de concentraciones : Pb > Cr > Cd. Las mayores concentraciones de Pb se encontraron en la laguna El Llano, las de Cr en la Mancha y por último las de Cd en la Salada. En estos tres

FIG. 14 POLIGONOS IONICOS DE LAS CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES TOTALES EN SEDIMENTOS DE LAS LAGUNAS (A) SALADA, (B) EL LLANO Y (C) LA MANCHA, VER. EN OCTUBRE 1992 (SUP.) Y FEBRERO 1993 (INF.)

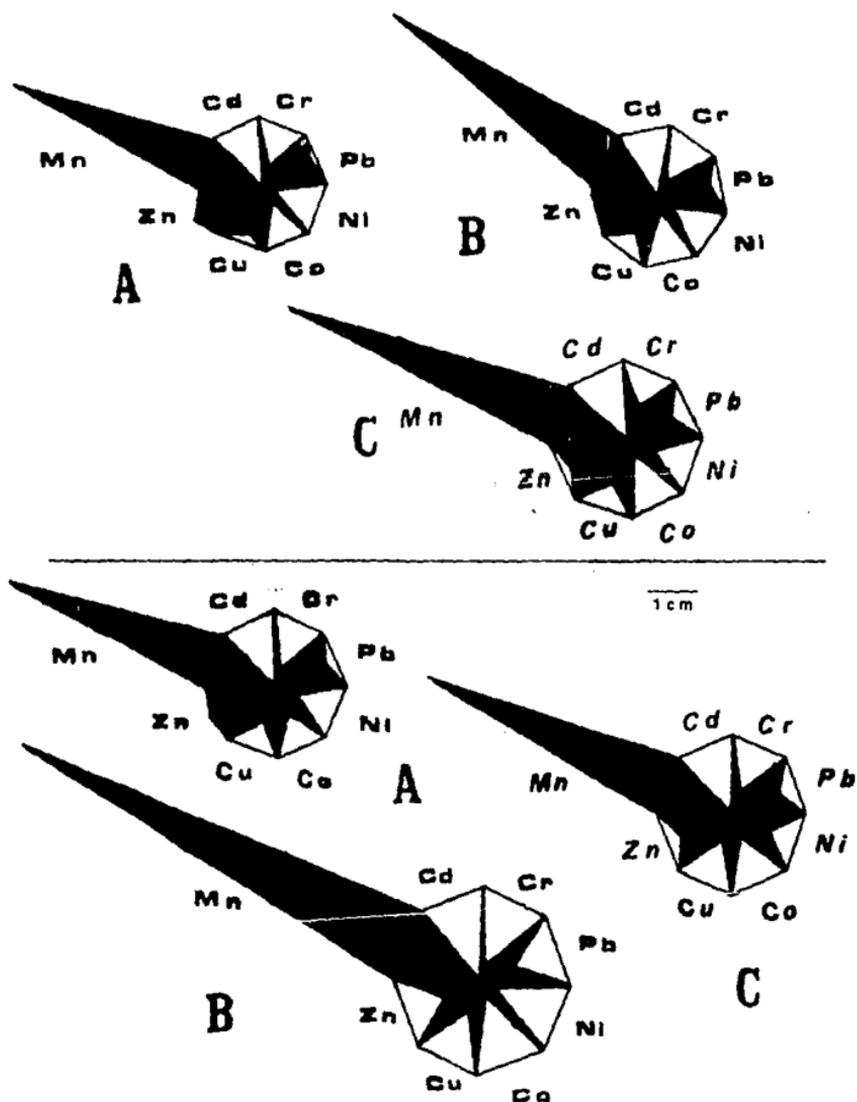


1cm



ESCALA : 1 mm² = 1.0 mg/d

FIG. 15 POLIGONOS IONICOS DE LAS CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES TOTALES EN SEDIMENTOS DE LAS LAGUNAS (A) SALADA, (B) EL LLANO Y (C) LA MANCHA, VRR. EN MAYO (SUP.) Y AGOSTO (INF.)



ESCALA : 1 mm² = 1.0 mg/g

metales, las concentraciones de la laguna Mandinga tuvieron niveles inferiores a las tres lagunas anteriores, con excepción del Cr en la laguna Salada :

Pb	:	Llano	>	Salada	>	Mancha	>	Mandinga
Cr	:	Mancha	>	Mandinga	>	Llano	>	Salada
Cd	:	Salada	>	Llano	>	Mancha	>	Mandinga

Las altas concentraciones de estos contaminantes se deben, por una parte, a los aportes humanos directos y por otra las emanaciones atmosféricas que ingresan a la laguna como aerosoles. Se ha mencionado que la diseminación de sustancias introducidas en la atmósfera tiene lugar a través de los movimientos de las masas de aire (Mandelli, 1979; Bertine and Goldberg, 1971; Peirson et al., 1973; Goldberg, 1976).

Las sales de mar, los polvos continentales, los procesos de alta temperatura y los productos de las actividades humanas, son la fuente responsable de la presencia de aerosoles en la atmósfera (Golberg, 1976). Patterson and Seattle (1975) determinaron que el 45 % de Pb presente en las aguas superficiales de la zona costera adyacente a los Angeles (EUA), entra al medio acuático por vía atmosférica.

En relación a las concentraciones biodisponibles de los 9 metales analizados las más altas corresponden al Fe en las cuatro lagunas, con mayores niveles en la laguna El Llano, lo que está en relación con que en esta misma laguna se presentó la mayor concentración de Fe total. Para el Mn y el Cu también se



presentó el mismo comportamiento que en el caso anterior. Las concentraciones de Mn están reguladas principalmente por las condiciones redox y el pH (Loring and Rantala, 1977), lo cual tiene una relación con la concentración de oxígeno disuelto, por lo que no es extraño que la laguna Salada sea la que registre las menores concentraciones. Así mismo, el Zn y el Co presentaron las concentraciones más altas en la misma laguna. El Ni tuvo las máximas concentraciones biodisponibles promedio iguales en las tres lagunas (Fig. 16 y 17). En todos los metales las concentraciones máximas de Mandinga fueron menores a las de las tres lagunas objeto de este estudio, con la excepción de Mn; de acuerdo a esto se realizó la siguiente secuencia de concentraciones (ppm). :

LAGUNA SALADA

Fe (5,476) > Mn (165) > Zn (19) > Co (11) > Cu (9) > Ni (5)

LAGUNA EL LLANO

Fe (6,343) > Mn (594) > Zn (15) > Cu (14) > Co (8) > Ni (5)

LAGUNA LA MANCHA

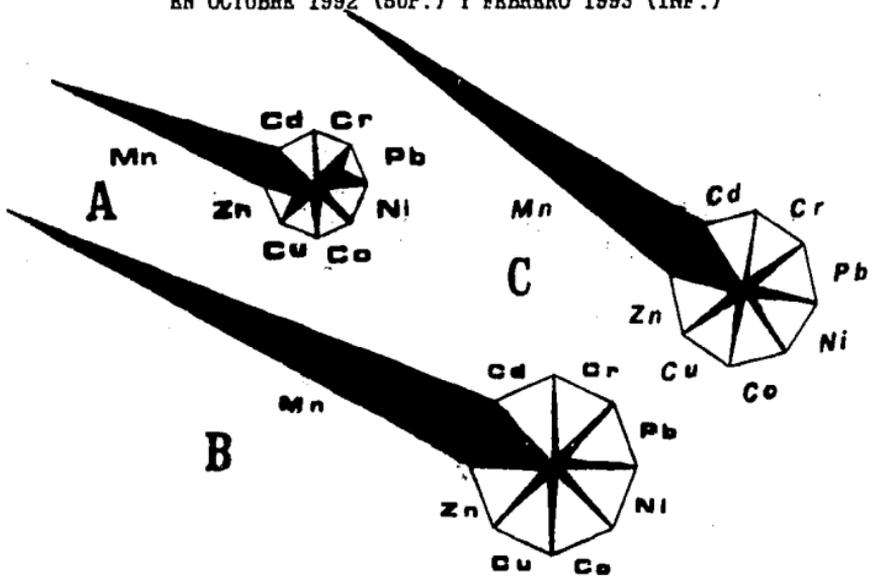
Fe (4,113) > Mn (328) > Zn (17) > Co (10) > Cu (8) > Ni (5)

LAGUNA MANDINGA

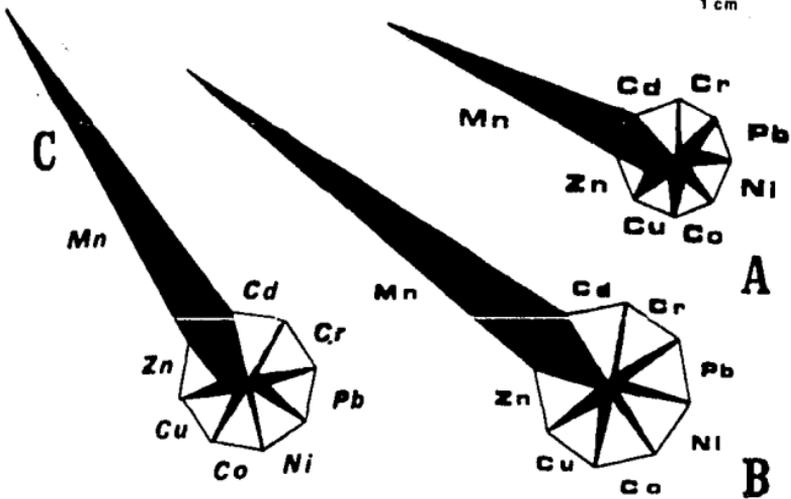
Fe (726) > Mn (418) > Co (22) > Zn (9) > Cu (7) > Ni (2)

Los resultados anteriores indican que la secuencia en la relación de abundancia de biodisponibilidad de los seis metales esenciales, no es igual a la secuencia de abundancia en forma total; también se destaca la alta biodisponibilidad del Co en las cuatro lagunas, por una parte y por otra la escasa

FIG. 18 POLIGONOS IONICOS DE LAS CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTOS DE LAS LAGUNAS (A) SALADA, (B) EL LLANO Y (C) LA MANCHA, VER. EN OCTUBRE 1992 (SUP.) Y FEBRERO 1993 (INF.)

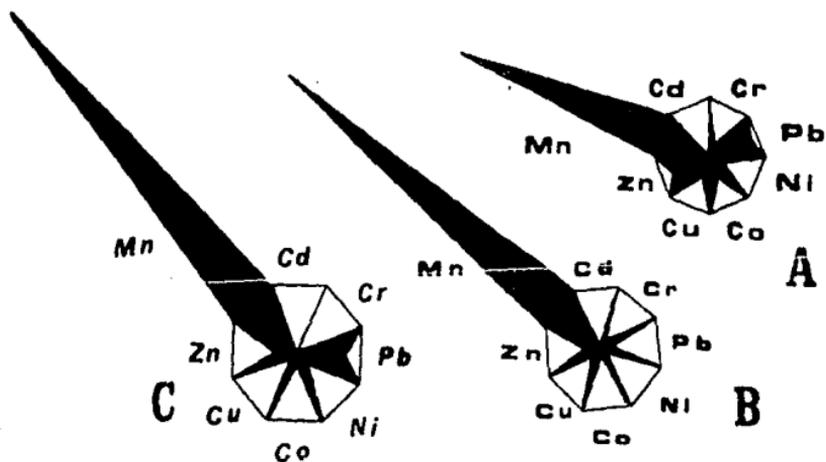
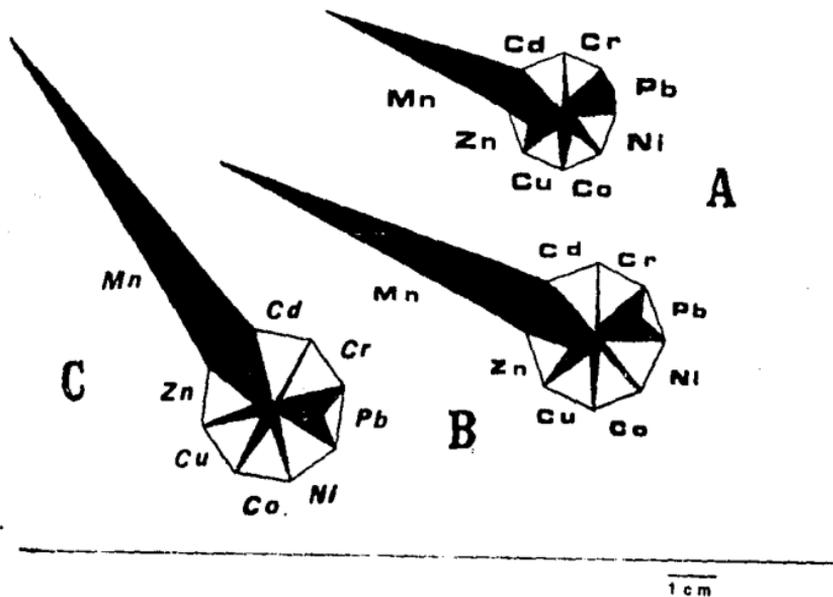


1 cm



ESCALA : 1 mm² = 0.8 mg/g

FIG. 17 POLIGONOS IONICOS DE LAS CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTOS DE LAS LAGUNAS (A) SALADA, (B) EL LLANO Y (C) LA MANCHA, VER. EN MAYO (SUP.) Y AGOSTO (INF.)



ESCALA : 1 mm² = 0.8 mg/g

TABLE 21. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES TOTALES (ppm) EN SEDIMENTOS DE LAS AREAS DE ESTUDIO Y DIFERENTES AREAS DEL MUNDO.

LOCALIDAD	Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	Mn	Fer ³⁺	REFERENCIA
L. MANCHA, VER.	1.35	81.20	49.76	61.42	32.30	32.29	92.11	564.12	16.2	Este estudio
L. EL LLANO, VER.	1.45	83.79	34.25	44.96	24.96	70.28	89.77	807.15	14.1	Este estudio
L. SALADA, VER.	2.20	77.19	29.69	35.24	32.21	52.30	117.95	345.70	11.2	Este estudio
L. MANDINGA, VER.	1.23	63.99	45.74	25.57	22.89	48.05	64.33	747.87	9.8	Este estudio
L. ILUSIONES, TAB.	N.D.	158.69	---	58.90	---	46.60	227.10	97.35	5.2	Valencia, 1989
L. OSTION, VER.	N.D.	N.D.	140.70	50.70	35.60	39.90	62.10	---	4.0	Vallanueva, 1987
R. BLANCO, VER.	1.64	32.5	76.05	32.38	24.57	28.59	93.10	836.00	3.7	Alvarez et al., 1986
R. COATZACOALCOS, VER	1.64	43.53	71.80	34.80	21.60	25.70	85.60	---	3.8	Pérez-Osuna et al., 1986
CARIBE MEXICANO	N.D.	N.D.	N.D.	65.26	---	N.D.	20.73	---	0.08	Botello, 1987
L. DE BOJORDUFF, O. ROO	N.D.	N.D.	N.D.	87.20	---	24.16	13.64	---	0.2	Botello, 1987
GOLFO DE PARIA	---	20.0	100.0	31.00	---	19.00	---	---	---	Hirst, 1962
COSTAS DEL OCEANO ATLANTICO	---	20.0	100.0	55.0	---	48.00	95.00	---	6.0	Wedepohl, 1960
COSTA DE KUMUAT	1.5	23.0	69.0	97.0	---	21.00	43.00	---	1.5	Anderlitz, et. al., 1982
BAHIA CASCO	0.47	26.8	34.5	17.6	---	15.50	65.40	---	---	Larsen et. al., 1967
PUERTO DE BOMBAY	11.00	52.0	125.0	110.0	---	110.00	155.00	---	0.1	Patel et. al., 1985
JAPON	0.2	55.0	30.0	14.0	---	27.0	51.00	---	3.3	Yasamoto, 1968
ISLA ORIENTAL TIEMPO LARGO	2.7	16.2	---	7.6	---	57.7	48.0	---	---	Greig et. al., 1977

biodisponibilidad del Ni.

Con respecto a las concentraciones biodisponibles de cada metal en las cuatro lagunas, se encontraron las siguientes relaciones :

Fe y Cu	:	Llano	>	Salada	>	Mancha	>	Mandinga
Mn	:	Llano	>	Mandinga	>	Mancha	>	Salada
Zn	:	Salada	>	Mancha	>	Llano	>	Mandinga
Co	:	Mandinga	>	Salada	>	Mancha	>	Llano
Ni	:	Salada	=	Llano	=	Mancha	>	Mandinga

En cuanto a los metales tóxicos en forma biodisponible se mantuvo la misma relación en las cuatro lagunas : Pb > Cr > Cd (Fig. 16 y 17) que es la misma relación que se presentó en las concentraciones totales. Las concentraciones de Pb y Cr de la laguna de Mandinga (Tabla 16), fueron mucho más altas que en las tres lagunas estudiadas; se puede inferir que por las relaciones biológicas, físicas y químicas existentes en esta laguna, aumenten los porcentajes de biodisponibilidad, lo cual no ocurre con las otras tres lagunas. A diferencia de estos dos metales, las concentraciones de Cd fueron más altas en las lagunas estudiadas que en Mandinga, cuya concentración es muy baja. En las cuatro lagunas, las mayores concentraciones de los metales tóxicos, se relacionaron de la manera siguiente :

Pb	:	Mandinga	>	Mancha	>	Llano	>	Salada
Cr	:	Mandinga	>	Llano	>	Mancha	=	Salada
Cd	:	Mancha	>	Salada	>	Llano	>	Mandinga

Como el Pb es liberado por la combustión de la gasolina y la laguna Mandinga se encuentra en las cercanías de carreteras muy transitadas y de centro urbanos, se puede inferir que los altos

niveles de plomo que presenta la laguna de Mandinga, guarden relación con las emisiones atmosféricas y con la gran cantidad de lanchas con motor fuera de borda que se encuentran en esta laguna. Concuerdá con lo anterior el hecho que de las tres lagunas restantes, La Mancha que ocupa el segundo lugar en lo que se refiere a la concentración del Pb y tiene en su parte oeste la carretera federal, en la cual se presenta también mucha circulación vehicular. El cromo y el cadmio son constantemente aportados a las lagunas por las corrientes del Golfo de México que llevan metales en suspensión o en sedimentos. En la tabla 21 se enlistan las concentraciones promedio de las diferentes zonas de estudio, las que se comparan con otras regiones del mundo. Esta comparación se debe tomar con reserva ya que las características físicas, químicas y biológicas propias de cada lugar le imparten características específicas en cuanto a la acumulación o distribución de los metales.

El Cd y el Pb se encuentran en concentraciones altas, en relación a zonas del Golfo altamente contaminadas, por ejemplo: el Cd en la laguna Salada tiene el valor más alto superando incluso al río Coatzacoalcos, Ver. Con el Pb ocurre un fenómeno similar, pero en este caso la concentración en la Laguna el Llano es casi la mitad del registro más alto que se tiene de Pb, el cual se presentó en la Laguna de las Ilusiones, Tabasco. Por lo tanto, es posible afirmar que las lagunas estudiadas presentan un alto riesgo de contaminación severa por metales tóxicos.

Las concentraciones de Cr en las lagunas Salada y El Llano,

se encuentran entre las más bajas, son sólo superiores a las de las zonas del Caribe Mexicano, que prácticamente no presentan impacto ambiental por metales; sin embargo, las lagunas La Mancha y Mandinga presentaron concentraciones más altas, las cuales se acercan a los registros de zonas como el río Coatzacoalcos, Ver.

De los elementos esenciales el Ni, Co, Zn, Mn y Fe se mantienen en concentraciones promedio medias, que aunque no son muy altos, tampoco están muy alejados de las concentraciones máximas para cada elemento, por lo que no se puede decir que las lagunas objeto de este estudio, están libres de influencias que alteren los niveles de los metales presentes en ellas.

El metal esencial que se presentó en concentraciones altas fué el Cu, alcanzando 70 ppm en El Llano, el registro más alto es de 110 ppm en el puerto de Bombay, mientras que en el Caribe Mexicano no se detectó el metal.

AGUA

En los resultados de metales en la columna de agua el Cd, Cr, Pb, Ni, Co, Cu y el Zn, no fueron detectables. Se puede inferir que el aporte en las tres aunque sea contínuo ocurre en muy bajos niveles y por lo tanto no permanecen en disolución por mucho tiempo. Esto indica que dichos metales se precipitan en cuanto ingresan a la laguna.

El Mn y el Fe sí fueron detectables con concentraciones más variables en todas las lagunas; las mayores concentraciones de

Fe se obtuvieron en la laguna El Llano, luego en La Salada y finalmente en La Mancha. El Mn se presentó con concentraciones más altas en la laguna La Mancha. Estos dos metales parecen tener una mayor facilidad de permanecer en disolución, lo cual es atribuible a las altas concentraciones en que se encuentran en los sedimentos de las tres lagunas, aunque también se puede deber a las propiedades físico-químicas de dichos metales.

BIOTA

De los organismos analizados sólo en los bivalvos se puede hacer una comparación entre las lagunas pues éstos se presentaron en La Mancha, El Llano y en Mandinga. Para los metales tóxicos en las tres lagunas se obtuvo la misma relación de concentraciones, con los niveles más altos para el Cr, menores para el Pb y las más bajas fueron las de Cd. La secuencia es la siguiente :

Cr > Pb > Cd.

Los registros más altos de estos metales en las tres lagunas, se encontraron en la siguiente relación :

LAGUNA LA MANCHA

Cr (10 ppm) > Pb (3.9 ppm) > Cd (1.99 ppm)

LAGUNA EL LLANO

Cr (5.7 ppm) > Pb (2.5 ppm) > Cd (1.1 ppm)

LAGUNA MANDINGA

Cr (4.6 ppm) > Pb (2.8 ppm) > Cd (1.24 ppm)

Según lo anterior los moluscos bivalvos en las tres lagunas presentaron concentraciones mayores a los límites permisibles para cada metal. De las tres lagunas estudiadas las más altas concentraciones se presentaron en la laguna de La Mancha.

El ostión *Crassostrea virginica* se capturó en las lagunas El Llano, La Mancha y Mandinga; las concentraciones de los metales tóxicos fueron diferentes en los organismos procedentes de cada una de ellas. Así el

Cr :	Mancha	>	Llano	>	Mandinga, el
Pb :	Mancha	>	Mandinga	>	Llano y el
Cd :	Mancha	>	Mandinga	>	Llano

Aunque el Cr es en todos los casos el metal más abundante y sobrepasa los límites permisibles, puede considerarse como no peligroso para los organismos en casi todos sus estados de oxidación; se ha mencionado que ciertos animales tienen una gran tolerancia al cromo; por ejemplo se han detectado concentraciones de 144 ppm en la ascidia *Eudiatoma ritteri* y en *Crassostrea* sp se han registrado concentraciones de 200 a 300 ppm sin que se presenten efectos adversos en el metabolismo (Hicks, 1976; Rosas et al., 1983). El Cr desempeña un papel importante en la fisiología de los organismos y se considera un nutriente esencial (National Academy of Sciences, 1974); los especímenes toleran concentraciones altas en los tejidos cuando se encuentra en forma trivalente, pero es altamente tóxico cuando está en forma hexavalente (Rosas, 1983).

En cuanto al Pb y Cd no son esenciales para la vida de los

organismos y son peligrosos cuando se encuentra en altas concentraciones. El Pb en los sedimentos de las lagunas estudiadas, presentó altas concentraciones biodisponibles y los organismos filtradores lo acumularon en sus tejidos. Es importante mencionar que aunque el Cd es el metal que presentó las más bajas concentración en los organismos también es el metal tóxico con los factores de concentración más altos lo que representa un riesgo potencial.

En lo que se refiere a los metales esenciales en las tres lagunas el orden en cuanto a la abundancia fué : Fe > Zn > Mn > Cu > Co > Ni. Según la secuencia anterior se tiene que el Zn se acumula en grandes cantidades en los organismos, ya que en sedimentos las concentraciones son altas. El Zn es el metal que más rápidamente se distribuye entre los organismos bentónicos y tiene gran importancia en los sistemas enzimáticos principalmente de los ostiones (Vallee, 1963).

El Ni fué el elemento que se presentó en menores concentraciones, lo que indica que éste metal tiene una baja bioacumulación en los organismos de las cuatro lagunas.

Para tener una visión más clara de la secuencia en la que se presentaron las concentraciones de los metales en las diferentes lagunas se efectuaron las comparaciones siguientes :

Mn	:	Mancha	>	Llano	>	Mandinga	>	Salada
Zn	:	Mancha	>	Llano	>	Salada	=	Mandinga
Fe	:	Salada	>	Mancha	>	Mandinga	>	Llano
Cu	:	Llano	>	Mancha	>	Mandinga	>	Salada
Co y Ni	:	Salada	>	Mancha	>	Llano	>	Mandinga

8. CONCLUSIONES

* Las concentraciones más altas de materia orgánica y carbonatos se registraron en la laguna la Mancha.

* En las concentraciones totales de metales esenciales en los sedimentos, se presentó el siguiente orden de sucesión en las tres lagunas : $Fe > Mn > Zn > Cu > Co > Ni$

* Las concentraciones totales de metales tóxicos en los sedimentos presentó, la siguiente secuencia en las tres lagunas :

$Pb > Cr > Cd$

* De los elementos esenciales, en forma biodisponible en los sedimentos las concentraciones más altas las presentaron el Fe y el Mn, en las tres lagunas.

* De los elementos tóxicos, las fracciones biodisponibles en los sedimentos se presentaron en las tres lagunas de la siguiente forma : $Pb > Cr > Cd$

* El más alto porcentaje de biodisponibilidad en las tres lagunas lo presentó el Cd.

* No se observó una fuerte relación en el comportamiento de los metales con la materia orgánica, ni con los carbonatos y ni con el tipo de sedimento.

* Los elementos esenciales más abundantes en la columna de agua de las tres lagunas fueron Fe y Mn.

* En las tres lagunas las concentraciones de metales tóxicos en agua fueron no detectables.

* El Fe sobrepasó el límite permisible, en la columna de agua.

* Los organismos en los cuales se registraron las más altas concentraciones de metales fueron los moluscos bivalvos y los pastos.

* Los elementos esenciales más abundantes en la biota fueron Fe, Zn y Mn.

* El Cr fué el metal tóxico más abundante en la biota.

* El Cr fué el metal con los más altos factores de concentración en la biota.

* El Cd fué el metal tóxico más altamente bioacumulado.

* La mayoría de las concentraciones de los metales tóxicos registradas en organismos sobrepasaron los límites permisibles.

* En cuanto al impacto producido por los contaminantes metálicos, todas las lagunas estudiadas fueron similares.

* Las tres lagunas objeto de este estudio presentaron concentraciones de metales en los sedimentos, más altas que la laguna de Mandinga.

* El impacto de los metales tóxicos en los sedimentos de las tres lagunas es relativamente significativo, ya que las concentraciones registradas se encuentran en el mismo intervalo que las de áreas ya impactadas por Cd, Cr y Pb.

* En cuanto a los metales esenciales, los niveles detectados son similares a las de áreas contaminadas.

* Las lagunas presentan la siguiente relación de abundancia de los nueve metales analizados en los sedimentos :

Salada	-	Fe	>	Mn	>	Zn	>	Pb	>	Cu	>	Ni	>	Co	>	Cr	>	Cd
El Llano	-	Fe	>	Mn	>	Zn	>	Pb	>	Cu	>	Ni	>	Cr	>	Co	>	Cd
La Mancha	-	Fe	>	Mn	>	Zn	>	Pb	>	Ni	>	Cr	>	Co	=	Cu	>	Cd

7. LITERATURA CITADA

Acosta, A. J. (1985) Estructura de la comunidad de manglar de la Laguna Salada. En : Informe técnico del área de ecología. Campamento "El Farallón". Comisión Federal de Electricidad; Veracruz, México.

Agemian, H. and Chau, A. S. (1976) Evaluation of extraction techniques for the determination of metals aquatic sediments. The Analyst 101 (1207): 761-767.

Albert, A. L. y Luna, J., (1987) Metales pesados en ostión procedente de dos sistemas estuarinos. Mem. IX Congr. Nal. Zool. pp. 121 - 127.

Alvarez, R. U. (1986) Distribución de metales pesados en sedimentos del Rio Blanco, Veracruz. Tesis de Maestría. UNAM, México. 68 pp.

Anderlini, V., Mohammad, O., Mazin, A., Zerba, Fowler, S. and Miramad, P., (1982) Trace metals in marine sediments of Kuwait. Bull. Environ. Contam. Toxicol. (28) : 75 - 80.

Baker, E. L., Landrigan, P. J., Barbour, A. G., Cox, D. H., Folland, D. S., Liger, R. N. y Throckmorton, J. (1979) Occupational lead poisoning states: clinical and biochemical findings related to blood lead levels. Br. J. Ind. Med. 36: 314-322.

Barron, M. C., (1990) Bioconcentration. Will water-borne organic chemicals accumulate in aquatic animal? Environ. Sci. Technol. 24 (11): 1612-1618.

Bertini, K., Martin, J. y Teal, J., (1976) Aids to analysis of seawater. In: Strategies for marine pollution monitoring (E. D. Goldberg, Ed.), Nueva York, pp. 217-253.

Bertini, K. K. and Goldberg, E. D., (1971) Fossil fuel and the major sedimentary cycle. Science 182: 173-233.

Botello, A. V. (1983) Variación estacional del contenido de metales pesados en Thalassia testudinum y sedimentos en una zona costera del Golfo de México. Informe final. Proyecto Inst. Ciencias del Mar y Limn. UNAM. México.

Botello, A. V., (1987) Impacto ambiental de los hidrocarburos fósiles en dos sistemas costeros del caribe occidental (México-Costa Rica) 1985-1986. Segundo Informe Anual Proyecto OEA-CONACyT. UNAM. México. 44 pp.

Botello, A. V. (1989) Impacto ambiental de los hidrocarburos organoclorados y de microorganismos patógenos específicos en Lagunas Costeras de México. Primer informe anual 1988-1989. Proyecto OEA-CONACyT. UNAM. México. 153 pp.

Broch, R. S. and W. Yake, (1969) A modification of Maucha's ionic diagram to include ionic concentrations. Limnology and Oceanography, 14: 933 - 935.

Brooks, R. R. and Rumsby M. G., (1965) The biogeochemistry of trace element uptake by some New Zealand bivalves. Limnol. Oceanogr. 10: 521 - 527.

Bryan, G. W. (1971) The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. Proc. R. Soc. Ser. B 177, 389-410.

Callister, S. M. and Winfrey, (1986) Microbial methylation of mercury in upper Wisconsin river sediments. Water, Air and Soil Pollut. 29: 453-465.

Ceballos, L. O. M. (1988) Estructura poblacional de las especies de "lenguados" que habitan en la Laguna del Llano, Ver. en un ciclo anual (de enero a diciembre de 1986). Tesis profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 45 pp.

Champoux, L., Ross, P., Jarry, V., Sloterdijk, H., Mudroch, A. and Couillard, Y. (1986) Liberation par elutriation des contaminants des sédiments du lac St. Louis (Fleuve Saint Laurent, Quebec). Rev. Internat. Sci. de l'eau 2 (4): 95-107.

Coenen, R., Fritsch, W., Goetzmann, S., Piotrowski, H. D., Schladitz, R., (1972) Alternativen zur Umweltmisere-Raubbauoder partnerchaft? Munchen: Carl Hanser.

Compañía Federal de Electricidad, (1987) Diagnóstico de las condiciones ecológicas actuales del complejo lagunar que comprende las Lagunas El Llano, Farallón, Salada, Verde y La Mancha. C.F.E. 104 pp.

Compañía Federal de Electricidad. (1989) Bases para la solicitud del uso exclusivo de la Laguna Salada por parte de la Comisión Federal de Electricidad. C.F.E. 40 pp.

Contreras, F., (1985) Las Lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. México. 115 pp.

Coutiño, R. R., (1982) Contribución al conocimiento de la fauna acompañante de la población ostrícola, de la Laguna de La Mancha, Ver. Tesis profesional. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. p. 3-6 y 76-79.

De Groot, A. J., (1977) Occurrence and behavior of heavy metals in river delta with special reference to the Rhine and Ems Rivers. In: Goldberg E. D. (Eds.) North Sea. Science, Cambridge, Mass. Press. pp. 308-325.

Flores, A. F. (1981) Aspectos ecológicos y comunidades de moluscos en la Laguna de La Mancha, Ver. México. Resúmenes VII Simp. Latinoamericano Oceanogr. Biol., 123 pp.

Flores, A. F. (1988) Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la Laguna de La Mancha, Ver. México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM 15 (2): 235-258.

Folk, R. L., (1974) Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Pub. Co. Austin. 182 pp.

Forstner V. and Wittman G. T. (1979) Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, N. Y.

Fortescue, J. A. C., (1979) The role of major and minor elements in the nutrition of plants, animals and man. In : Review of Research on modern problems in geochemistry. Sieyel (ed.).

García, E., (1973) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (Adaptado para la República Mexicana). Offset Larios. México 252 pp.

Gass, I. G., Smith, P. J and Wilson, R. C. L. (1974) Understanding THE EARTH A Reader in the Earth Sciences. Ed. Balding & Mansell Ltd. Inglaterra. 383 pp.

Gaudette, H. E., Flight, W. R., Torner, L. and Folger, (1974) An inexpensive titration method for the determination of organic carbon recent sediments. J. Sediments Petrol. 44(1) : 249 - 253.

GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution): Cadmium, lead and tin in the marine environment. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 56. 90 pp.

Gibbs, R. J., (1977) Transport phases of transition metal in the Amazon and Yukon rivers, Geological Society of American Bulletin. The UNESCO Press. Paris.

Giblin, A. E. A., Bourg, I. Valiela and Teal J. M. (1980) Uptake and losses of Heavy metals in Sewage Sludge by a New England Salt Marsh. Amer. J. Bot. 67(7) : 1059-1068.

Goldberg, E. D., (1976) The health of the oceans. The Unesco Press, Paris. 172 pp.

Gómez-Pompa, A., (1972) Estudio preliminar de la vegetación y la flora en la región de Laguna Verde. Ver. Informe final. Instituto de Biología, UNAM. 278 pp.

González, H., Liera, L. and Torres, I., (1985) Heavy metals distribution in surface sediments and core samples from Havana Bay, Cuba. In: Internatl. Conf. on heavy metals in the environment. T. D. Lekkas (ed.), Athens Vol. 2, 424-428.

Groig, R. A., Reid, R. N., Wenzolff, D. R., (1977) Trace metal concentration in sediments from Long Island Sound. Mar. Poll. Bull. (8) : 183 - 188.

Hamilton, E. I. (1980) The chemical laboratory and trace analyses. In: Element analyses of biological materials: current problems and techniques with special reference to trace elements. Chap 14 Technical Reports Series. No. 197.

Harper, H. A. (1971) Review of Physiological Chemistry. Los altos Calif. Lange Medical Publications. 529 pp.

Harrison, F. L., J. P. Knezouich and D. W. Rice (1984) The toxicity of copper to the adult and aery life stages on the freshwater clam Corbicula mauilensis. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 13 : 85-92.

Hicks, E. A. (1978) Variación estacional en la concentración de elementos metálicos en ostiones de la laguna de Términos, Campeche, México. Tesis profesional. Facultad de química, UNAM. 60 pp.

Hirst, D. M., (1962) In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 26 : 1174.

Hungspreugs, M.; W. Utoomprurkporn; S. Dharmvanij and P. Sompongchaiyakul, (1989) The present status of the aquatic environment of Thailand. *Marine Pollution Bulletin* 20: 327-332.

Huntzicker, J. J., (1975) Material balance for automobile emitted lead in Los Angeles basin. *Environ. Sci. Technol.* 9: 448-452.

Hurley, P. M. (1985) ¿ Qué edad tiene la Tierra ? EUDEBA. Argentina. 158 pp.

IAEA/UNEP/FAO/IOC. (1984) Determination of total cadmium, zinc, lead and cooper. In : Selected marine organism by flame less atomic spectrophotometri. Reference methods. For Marine Pollution Studies. Rev. 1, UNEP. 1984.

Katz, A. and Kaplan, I. R., (1981) Heavy metals behavior in coastal sediments of Southern California: a critical review and synthesis. *Mar. Chem.* 10 (1): 18-38.

Kawal, K. (1959) The cytochrome system in marine lamellibranch tissues *Biol. Bull.* 117 : 125-132.

Khalaf, F. F., Liperathy, P. and Anderlini, V., (1982) Vanadium as a traces of oil pollution in the sediments of Kuwait. *Hydrobiologia* 91 : 147 - 154.

Larsen, P. F., Zdanowics, V. and Johnson, A. C., (1983) Trace metal distribution in the superficial sediments of Penoscobot Bay, Maine. In: *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (31) : 568 - 573.

Longwell, Ch. R. y Flint, R. F. (1983) *Geología Física*. LIMUSA. México. 545 pp.

Loring, D. H. and Rantala, T. T. (1977) Geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. Fisheries and Marine Services. Technical Report No. 700. Department of Fisheries and the Environment. Canada. 58 pp.

Lopez-Artiguez, M., M. L. Soria and M. Repetto (1989) Heavy metals in bivalve molluscs in the Huelua estuary. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 42 : 634-642.

Machold, O. and Scholz, G. (1969) Eisenhaushalt und Chlorophyllbildung bei Hoheren Pflanzen. Naturwiss., 56 : 447-452.

Mackay, J.. (1983) Metal organic complex in sea water. An investigation of naturally-occurring complexes of Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Mg and Cd using high performance liquid chromatography with atomic fluorescence detection. Mar. Chem. 13, 169-180.

Mance, G.. (1987) Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. Elsevier, N. Y. 372 pp.

Mandelli, E. F., (1979) Contaminación por metales pesados. Rev. Com. Perm. Pacifico Sur. 10: 209-228.

Mariano, M. E., (1986) Hábitos alimenticios de Callinectes similis (Williams, 1966) en la Laguna del Llano, Mpio. de Actopan, Ver. México. Tesis profesional. Universidad Veracruzana Xalapa, México. 56 pp.

Moody, J., and Lindstrom, R., (1977) Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements sample. Analit. Chem. 49: 2264-2267.

Moore, W. J., (1990) Inorganic Contaminants of Surface Water. Research and monitoring prioritis. Springer-Verlag. USA 334 pp.

Mora, P. C. y Ramirez, M. F., (1980) Los componentes de la ictiofauna y su variación estacional en la Laguna de La Mancha, Ver., México. Resúmenes IV Congreso Nal. Zool. 47 pp.

Morales, A. P., (1984) Variación estacional de los componentes de la ictiofauna en la Laguna del Llano, Ver. México. Tesis profesional. Universidad Veracruzana, Xalapa. Ver. 40 pp.

Mounter, C. A. and A. Chanutin (1953) Dialkyl fluorophosphatase of kidney. J. Biol. Chem. 204 : 837-846.

National Academy Of Science. (1974) Research needs in water quality criteria. Chromium U. S. Government Printing Office. Washington D. C. pp. 86-89.

Nauen, C. E., (1983) Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. Food and Agriculture Organization of the United, FAO Fisheries Circular No. FIRI/C784. Roma. Octubre 1983. 42 pp.

Nelmes, A. J., Buxton, R., Fairweather, S. J. and Martin, A. E., (1974) The implication of the transfer of the trace metals from sewage sludge to man. Proceedings of the 7th annual conference on trace substances and environmental health (D. D. Hemphill, Ed.) Columbia, Missouri, University of Missouri. pp. 145-153.

Novelo Retana, A., (1978) La vegetación de la estación biológica El Morro de la Mancha, Veracruz. Biotica. 3 (1): 9-23.

Nriagu, J. O. and Coker, R. D. (1980) Trace metals in humic and fulvic acids from Lake Ontario sediments. Environ. Sci. Technol. 14 : 443-448.

Nriagu, J. O., (1989) A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. Natura 338: 47-49.

Oliva, R. J. J., (1991) Composición Taxonómica, abundancia y distribución de los macrocrustáceos de la laguna El Llano, Ver. Tesis profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 87 pp.

Feirson, D. H., (1973) Trace elements in the atmosphere environment Natura 241: 252-258.

Paéz-Osuna, F. y Osuna-López, J. T., (1990) Heavy metals distribution in geochemical fractions of surface sediments from the lower Gulf of California. Anal. Inst. Ciencias del Mar y Limnol. UNAM. 17 (2) : 287 - 298.

Patel, B., Vasanti, S., Bangera, Shakunt and Balani, M., (1985) Heavy metals in the Bombay Harbour Area. Mar. Poll. Bull. 16 (1): 22 - 28.

Patterson, C. C. and Seattle, D. M., (1975) The reduction of orders materials and natural waters by evaluation and contamination introduced during sample collecting, handling and analysis. Proc 7th IMR Symp. La Fleur, P. D. (ed). NBS Spec. Publ. 422.

Pugsley, C. W., P. D. N. Herbert and P. M. McQuarrie (1988) Distribution of contaminants in clams and sediments from the Huron-Erie corridor. II. Lead and cadmium. Journal of Great Lakes Research 14 : 356-388.

Fulich, M. W., (1980) Heavy metal accumulation by selected Halodula wrightii Asch. populations in the Corpus Christi Bay area. Marine Science 23 : 89-100.

Rankama, D. K. y Sahama, G. T. (1962) Geoquímica. Ed. Aguilar. España. 862 pp.

Ramondetta, P. J. and Harris, W. H., (1978) Heavy metals distribution in Jamaica Bay sediments. Environ. J. Mar. Biol. Ass Uk. 51, 131.

Ray, S. and McLesse, D. W. (1987) Biological cycling of cadmium in marine environmental. In : Cadmium in the aquatic environment, eds. J. O. Nriagu and J. B. Sprague. Wiley, N. Y. pp. 99-229

Riley, J. P. and Chester, R., (1971) Introduction to marine chemistry. Academic Press. London, 465 pp.

Romeril, M. G., (1971) The uptake and distribution of ^{65}Zn in oysters. Mar. Biol. 9: 347-354.

Rosas, P. I. and Belmont, R. (1983) Oyster (Crassostrea virginica) as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. Water, Air and Soil Pollut. 20 : 127-135.

Rosas, P. I., Belmont, R., Baez, A. y Villalobos-Pietrini, R. (1989) Some aspects of the environmental exposure to chromium residues in México. Water, Air and Soil Pollut. 48, 463-475.

Sadiq, M. and Zaidi, T. H., (1985) Metal concentrations in the sediments from the Arabian Gulf Coast of Saudi Arabia. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 34 : 565 - 571.

Scheffler, W. C., (1981) Bioestadística. Fondo Educativo Interamericano, México. 267 pp.

Schelske, C. L., (1964) Ecological implications of radioactivity accumulated by mollusc. Ecology 45 : 149-150.

Schroeder, H. A., Nason, A. P., Tipton, I. H. y Balassa, J. J. (1967) Essential trace metal in man: zinc. Relation to environmental cadmium. J. Chronic Dis. 20: 179-210.

Servin, T. J. L., (1984) Aspectos ecológicos de las poblaciones de camarón marino del género Panaeus (P. aztecus y P. setiferus) en la laguna El Llano, Mpio. de Actopan, Ver., Méx. Tesis profesional. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. 36 pp.

Skei, J. and Paus, P. P. (1979) Surface metal enrichment and partitioning of metal in a dated sediment core from a Norwegian fiord. Geochim. et Cosmochim Acta, 43 : 239 - 246.

Smith, E. L. (1951) The specificity of certain peptidase. Advan. Enzymol. 12 : 191-254.

Smith, W. H., (1972) Metal contaminant of urban woody plants. Environ. Sci. Technol. 7: 631-639.

Smith, D. G., (1985) Sources of heavy metals inputs to the New Zealand aquatic environment. J. Roy Soc. New Zealand. 15 (4): 371-384.

Sosa, G. N. A. y Ruiz, R. F. (1991) Zonación y variación estacional (sucesión) de la epifauna de las raíces del mangle de la Laguna El Llano, Ver., México. Tesis profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 98 pp.

Stanford, H. M., O'Connor, J. S. and Swanson, R. L. (1981) The effects of ocean dumping on the New Bight ecosystem. En: Ocean dumping of waster (b.H. Ketchum, D. R. Kester y P. Kilho park, Eds.) Plenum Press, New York. pp. 53-86.

Stofen, D., (1974) Blei als umweltgift. Die verdeckte Bleivergiftung, ein Massenphänomen? Eschwege: G. E. Schroeder.

- Sung, J. F. C.; A. E. Nevissi and F. B. Dewalle (1986) Concentration and removal efficiency of major and trace elements in municipal wastewater. Journal of Environmental Science and Health 21: 435 - 448.
- Turekian, K. K., (1971) River tributaries and estuarine. In : Impingement of man of the oceans. D. W. Wood (ed) Wiley Interscience, NY. pp. 9 - 73.
- Underwood, E. J., (1971) Trace elements in human and animal nutrition. 3rd. Ed. New York. Academic Press.
- US Mineral Yearbooks 1930-1989. Bureau of mines, US Department of the Interior, Washington, D. C.
- US Environmental Protection Agency. (1985) Ambient water quality criteria for lead 1984. US Environmental Protection Agency, EPA 440/5-84-027. Washington, D. C. 81 pp.
- Valencia, J. J., (1989) Registro sedimentario de metales pesados en la Laguna de las Ilusiones, Villahermosa, Tabasco. Tesis profesional. Universidad Juarez Autónoma de Tabasco. 101 pp.
- Valle, B. L. (1963) Molecular basis of enzyme action and inhibition. Proc. Intern. Congr. Biochem. 5th Moscow, 1961. 4 : 162-171.
- Viarengo, A., Pertica, M., Mancinelli, G., Capelli, R. and Orunesu, M., (1980) Effects of copper on the uptake of amino acids, on protein synthesis and on ATP content in different tissues of Mytilus galloprovincialis Lam. Mar. Environ. Res. 4: 745-752.
- Villanueva, S., (1987) Evaluación de metales pesados en sedimentos y organismos del Río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Ver. México. Tesis de licenciatura. ENEP Zaragoza. U.N.A.M. 82 pp.
- Villanueva, S. y Botello, V. A. (1992) Metales pesados en la zona costera del Golfo de México: una revisión. Rev. Int. Contam. Ambient. 8(1): 47-61.
- Vymazal, J. (1984) Short-term uptake of heavy metals by peryphyton algae. Hydrobiologia 119: 159 - 162.

Waldichuk, M., (1974) Some biological concerns in heavy metals pollution, p. 1-57. In: F. Jhon Vernberg and Winona B. Vernberg (eds.), Pollution and physiology of marine organisms, New York, Academic Press, 492 p.

Waldichuk, M., (1977) La contaminación mundial del mar: Una recapitulación. Comisión Oceanográfica Intergubernamental. Colección Técnica. Unesco. Francia . pp. 9-21.

Wedepohl, K. H., (1960) In: Geochim. Cosmochim. Acta. 18, 200.

White, S. L. and Rainbow, P. S., (1985) On the metabolic requirements for copper and zinc in molluscs and crustaceans. Marine Environmental Research 16 : 215 - 229.

Westall, J. and W. Stumm (1980) The hydrosphere. In: The handbook of environmental chemistry, ed. O. Hutzinger, 17-49. Springer-Verlag, New York.

Whitfield, M., Turner, D. R. and Dickinson, A. G. (1981) Speciation of dissolved constituents in estuaries. En: River inputs to ocean system. proceedings of UNESCO/IOC/UNEP Review Workshop, 16-19 march, 1979. New York, United Nations, pp. 132-188.

Yamamoto, Y. J., (1988) Oceanography. Soc. Japan 24, 160.

Yañez-Arancibia, A. (1988) Los peces demersales de la plataforma continental del sur del Golfo de México. I. Caracterización ambiental, ecología y evaluación de las especies, poblaciones y comunidades. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. Publ. Exp. 9: 1-230.