

**UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**NIVELES DE METALES TRAZA Y PESADOS EN EL ZOOPLANCTON
DE LA DESEMBOCADURA DEL RIO COLORADO.**



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA
ANTONIO DE DIOS URTEAGA

ENSENADA, B. C. DICIEMBRE DE 1991

"NIVELES DE METALES TRAZA Y PESADOS EN EL ZOOPLANCTON
DE LA DESEMBOCADURA DEL RIO COLORADO."

T E S I S


QUE PRESENTA:

ANTONIO DE DIOS URTEAGA

Aprobada por:



Presidente del jurado
M.C. Antonio Trujillo Ortiz



Sinodal propietario
Oc. Julio A. Villescusa C.



Sinodal propietario
Oc. J. Antonio Fernandez A.



Sinodal suplente
Oc. Raúl Canino Herrera.



Sinodal suplente
Oc. Francisco Delgadillo H.

RESUMEN

En el presente estudio se determinaron las concentraciones de metales traza y pesados ($\mu\text{g/g}$ de tejido) en el zooplancton mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica de flama. Los muestreos se efectuaron en el la desembocadura del Río Colorado, a lo largo de una serie de estaciones, mensualmente de abril a octubre, excepto agosto, de 1990. Se discute la influencia, en el variación de las concentraciones, en función de los factores ambientales, las fuentes de metales y la abundancia de los grupos característicos del zooplancton; se encuentran variaciones espaciales no significativas, así como concentraciones de Mn, Fe y Al comparativamente altas.

D E D I C A T O R I A

A mis padres	Elva Urteaga de de Dios
	Felipe De Dios Sierra
A mis hermanos	Felipe A. De Dios Urteaga
	Fernando De Dios Urteaga
	J. Francisco De Dios Urteaga
A mis tios	Antonieta Canale de Lacarra
	David Lacarra Meyer
A mis primos	Rosana Lacarra Canale
	David Lacarra Canale
	Antonio Lacarra Canale
	Mariana Lacarra Canale

A la mujer que me acompaña y que sin su ayuda desinteresada no hubiera sido posible terminar ésta obra, con amor a el Biol. J. Claudia Leyva Aguilera.

En memoria del Cap. P.A. Joaquín A. De Dios Urteaga, hermano isustituible.

AGRADECIMIENTOS

El éxito se alcanza a través de la experiencia transmitida.

Agradezco los consejos, orientación y el entusiasmo que brindó para la realización del presente estudio al M.C. Antonio Trujillo Ortíz.

Agradezco especialmente al área de química de metales pesados del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C. por permitirme el uso de las instalaciones y equipo, así como la objetiva asesoría técnica de los oceanólogos Gilberto Flores Muñoz y Julio A. Villaescusa Celaya.

Agradezco la atención y consejos de los oceanólogos José Antonio Apango, Francisco Delgadillo H. y Raúl Canino Herrera para la elaboración del presente manuscrito.

Agradezco la ayuda especial del laboratorio de Ecología de bentos del C.I.C.E.S.E. dirigido por la M.C. Ana María Escofet ("Mona"); al Oc. Rosa Aurelia Jiménez y al Biol. Carmen Montiel por su ayuda en la identificación de organismos.

Agradezco la valiosa ayuda y amistad de la comunidad del Golfo de Sta. Clara.

Agradezco el mapa del área de estudio facilitado por el Oc. Arnulfo Estrada ("Raji"). Al C.E.P.R.O.D.E.T. por la edición e impresión del manuscrito.

A todos los colegas de la facultad por su compañerismo y amistad, que de algún modo participaron con sus pláticas e inquietudes, mis sinceros agradecimientos.

Finalmente éste trabajo no hubiera sido posible sin la capacitación profesional que me brindaron los maestros de la Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C.

INDICE

	Página
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	10
1.3. Objetivo	13
2. Materiales y Métodos	14
2.1. Descripción del área de estudio	14
2.2. Procedimiento de colecta del zooplancton	18
2.3. Descontaminación del material para el análisis químico	20
2.4. Descongelado y limpieza de las muestras	20
2.5. Filtrado y homogenizado de las muestras	21
2.6. Procedimiento químico	21
2.7. Obtención de peso seco (PS)	22
2.8. Calculo de las concentraciones de los metales	23
2.9. Análisis estadístico	23
2.10. Uso de estándares certificados del NIST-EUA	25

3. Resultados	27
3.1. Resultados del los análisis estadísticos	27
3.2. Manganeso (Mn)	30
3.3. Cobre (Cu)	30
3.4. Zinc (Zn)	33
3.5. Fierro (Fe)	33
3.6. Aluminio (Al)	36
3.7. Mercurio (Hg)	36
4. Discusiones	39
5. Conclusiones	51
6. Literatura Citada	52
7. Anexos	62

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Area de estudio y estaciones de colecta para el zooplancton en la desembocadura del Río Colorado, Alto Golfo de California	15
Figura 2. Gráfico del análisis Cluster de similitud geográfica entre estaciones en distancias Euclideanas	29
Figura 3. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Mn en zooplancton	31
Figura 4. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Cu en zooplancton	32
Figura 5. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Zn en zooplancton	34
Figura 6. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Fe en zooplancton	35
Figura 7. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Al en zooplancton	37
Figura 8. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Hg en zooplancton	38

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla I. Comparación de concentraciones de los metales traza y pesados en las muestras de control certificadas por el National Bureau of Standards (NBS), EUA, con las analizadas	26
Tabla II. Correlación producto-momento de Pearson entre metales traza y pesados detectados en muestras de zooplancton	28
Tabla III. Promedio porcentual de abundancia en número de individuos de los grupos del zooplancton en el delta del Río Colorado, B.C.	46
Tabla IV. Comparación de las concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) de los metales traza y pesados analizados contra los valores reportados en la literatura	48

LISTA DE ANEXOS

Página

Anexo I. Valores de estadística descriptiva ($\alpha = 0.05$) para el grupo de datos del zooplancton	62
Anexo II. Análisis de Varianza de 1 vía para la concentración promedio de los metales traza y pesados analizados en el zooplancton por estaciones.	63
Anexo III. Análisis de Varianza de 1 vía para la concentración de los metales traza y pesados analizados en el zooplancton por meses	64
Anexo IV. Análisis de Varianza de 2 vías para la concentración promedio de los metales traza y pesados analizados en el zooplancton por estaciones y por meses	65

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

La humanidad no puede subsistir sobre una base de recursos ambientales deteriorados (CMA, 1988; citado por Carabias, 1990), por lo que se deben tomar medidas de prevención y control sobre las actividades (agrícolas, extractoras de minerales, industriales y urbanas) que aporten excesos de materiales (hidrocarburos, químicos y metales pesados) al medio ambiente y que finalmente llegan al océano (Cousteau, 1983; Clark y Krynitsky, 1983). Los efectos por el consumo de alimentos provenientes del mar y continentales conteniendo niveles de contaminantes superiores a los de seguridad, han llegado a provocar afecciones drásticas y hasta catastróficas a nivel local, regional y global. El mercurio, cadmio y plomo, por ejemplo, han producido serias deformaciones esqueléticas, problemas en comportamiento, muertes, etc., (Fostner y Wittmann, 1983).

Las aguas costeras proveen el 99% de las pesquerías del mundo, lo que hace que exista una gran preocupación por la contaminación a la que son sometidas debido a que son las áreas más intensamente utilizadas por el hombre (Kulleberg, 1984; citado por Bolaños, 1990).

Debemos tomar en cuenta que los paquetes tecnológicos que se han aplicado en México en las últimas décadas han surgido de condiciones muy particulares y se han extendido indiscriminadamente sin reconocer la heterogeneidad del medio ambiente (Carabias, 1990).

Los metales que entran por vía natural o antropogénica al océano podrían sobrepasar las concentraciones normales ó los límites de tolerancia de los organismos (Odum, 1971); lo preocupante es que si ésto se mantiene durante un tiempo prolongado y/o por períodos frecuentes, el mecanismo homeostático que mantiene a las sustancias requeridas y producidas por los organismos dentro de las concentraciones óptimas (Margalef, 1980), es inhibido o desequilibrado; los metales esenciales actúan de una manera deficiente, óptima ó tóxica y los no esenciales actúan de una forma tolerable, aguda ó crónica, que dan como resultado una bioacumulación y asimilación en la cadena trófica que puede resultar perjudicial para los organismos (Bryan y Hummerstone, 1973; citado por Fostner y Wittmann, 1983).

La participación de los iones $Mn(II)$, $Mg(II)$, $Fe(II,III)$, $Cu(I,II)$, $K(I)$, $Zn(II)$, $Na(I)$, etc. como donadores de electrones ó ligandos en los sistemas enzimáticos de las formas de vida orgánica, los hace

esenciales para su sobrevivencia y desarrollo (Lehninger, 1975).

Para establecer una clara diferencia y entender la diversa naturaleza de los metales que entran al océano mundial, se clasifican en dos grupos: 1) los metales pesados, definidos como aquellos cuya densidad ($\rho = \text{g/ml}$) es por lo menos cinco veces mayor que la del agua (PNUMA, 1980; citado por Bolaños, 1990) y 2) los metales traza, que se encuentran en muy bajas concentraciones, del orden de los $\mu\text{g/lit}$ ó ng/lit (Anikouchine, 1979). Metales como el Hg ($\rho = 13.6$), Cu ($\rho = 8.89$), Zn ($\rho = 7.08$), Fe ($\rho = 7.86$), Mn ($\rho = 7.30$), etc., son metales pesados y metales traza. El Al ($\rho = 2.7$), Si ($\rho = 2.33$), etc., son metales traza pero no se consideran metales pesados.

Atendiendo las bases de la variación en la respuesta biológica a sustancias principalmente hidrofílicas en el medio acuático son: 1) genéticas; 2) fisiológicas y 3) etológicas como los hábitos alimenticios representados en el zooplancton: los fitófagos, filtroalimentadores, filtroalimentadores de sedimentos y de detritus y carnívoros (Fostner, 1983).

Gutiérrez-Galindo (1982), indica que los diversos

factores ecológicos que intervienen en la acumulación de los iones metálicos, son : 1) biológicos (ya mencionados); 2) fisicoquímicos: naturaleza del estado fisicoquímico del metal, concentración del ión en el medio y la salinidad; 3) físicos: temperatura, mareas, cantidad de detritus; 4) oxígeno disuelto y 5) pH, que determina el estado de ionización, siendo por lo general más tóxicos los iones libres.

Los estudios sobre los procesos biogeoquímicos en las zonas superficiales del océano hacen evidente la remoción de los constituyentes del agua de mar hacia los sedimentos. El plancton es un importante contribuyente que transporta a los elementos durante la precipitación de las estructuras esqueléticas, detritus orgánico (Arrenhius, 1963), en las mudas de los exoesqueletos de los crustáceos (Fowler y Small, 1967), en la precipitación rápida de los "pelets" (Osterberg et al., 1963; todos citados por Martin y Knauer, 1973).

Estudios realizados en las cadenas alimenticias marinas han demostrado que los niveles de metales traza y pesados más elevadas se encuentran en los organismos de niveles tróficos inferiores como el fitoplancton y zooplancton (Rainbow y White, 1989). El zooplancton es un importante

constituyente en la organización y composición de los ecosistemas acuáticos, debido a que sus poblaciones naturales resultan imprescindibles como fuente alimenticia para muchas especies de organismos económicamente importantes, tanto marinos como estuarinos (Parsons y Takahashi, 1977).

Mak (1972), realizó un estudio en condiciones controladas del incremento de metales pesados utilizando organismos marinos de las costas del sur de California, representando los dos niveles básicos de la cadena trófica. El menciona que se puede proveer de información básica para entender el significado de las concentraciones de los metales pesados como contaminantes en el mar y en los recursos alimenticios marinos.

En el Mar Báltico, Brzezinska et al. (1984), realizaron un estudio sobre el contenido de metales traza y pesados bajo las técnicas de flama AAS (Espectrofotometría de Absorción Atómica), y de NAA (Análisis de Activación de Neutrones); encontrando coeficientes de bioacumulación del orden de 1×10^2 a 1×10^5 , decreciendo de fitoplancton y zooplancton a zoobentos y peces.

Katalin (1988), realizó un estudio comparativo entre

moluscos bentónicos y crustáceos planctónicos en el Lago Balaton (Hungría) para monitorear la contaminación por metales pesados, observando que el zooplancton es el modelo más sensible.

Falandyz (1984), realizó un análisis del contenido de metales traza y pesticidas en las comunidades planctónicas del Mar Báltico. Menciona que la concentración de los metales difiere en relación a la composición interespecífica, densidad del plancton y a los factores ambientales.

En un estudio realizado en Columbia Británica, EUA, para observar y controlar los efectos de las aguas de desecho de actividades mineras ricas en metales traza sobre la población planctónica, se encontraron efectos tales como un incremento de producción zooplanctónica comparada con el control. Se observó que el zooplancton consume las aguas residuales de las minas sin observar cambios estructurales como resultado de las adiciones de las descargas (Parsons et al., 1986).

La principal importancia en la utilización de las comunidades zooplanctónicas como indicadores de las características físicas, químicas y biológicas del océano,

radica en que su distribución en espacios geográficos definidos está garantizada por sus comportamientos ontogénicos, como la migración vertical (Sinclair, 1988), sus ciclos de vida corta y altas tasas metabólicas que los hace más sensibles a los cambios ambientales (CAETEP, 1986).

Los primeros estudios realizados en el Golfo de Baja California fueron contribuciones hidrobiológicas y planctológicas realizadas por el Albatross en 1889 (Roden, 1959; Manrique, 1987). Posteriormente, se han desarrollado entre otros, estudios de biomasa y distribución del zooplancton hechos por Farfán et al., (1973) específicamente en la parte norte del golfo y después del evento del Niño (1982-83) con énfasis por Lavaniegos-Espejo (1987).

En materia de contaminación ó del monitoreo de los excesos de sustancias que causan el deterioro de la calidad del agua de mar, el daño a los recursos vivos puede resultar peligroso para la salud humana. En éste aspecto se han realizado estudios desde la década de los setentas (SRH-UABC, 1973).

El primer estudio que revela una contaminación por pesticidas organoclorados en el pez Cyprinus carpio (carpa

herbívora), que habita en los canales de riego del Valle de Mexicali, es el de Guardado-Puentes (1973). Posteriormente, otros estudios que utilizan moluscos como Corbicula fluminea, Chinoe californiensis y Modiolus capax (Villaescusa-Celaya, 1987) y peces como Cyprinus carpio y Tilapia sp. (Villa-Andrade, 1988), no encontraron niveles superiores a los preestablecidos por las autoridades de sanidad alimenticia (USFDA).

Dentro de las fuentes de aporte de metales traza y pesados esenciales en el delta del Río Colorado destacan los siguientes: 1) intemperismo y erosión (Warren, 1981), 2) subproductos de los insumos de la agricultura (Nishikawa, 1971), 3) actividad en el campo geotérmico de Cerro Prieto (Gutiérrez-Galindo, 1988), 4) resuspensión, por el tránsito de automotores sobre los caminos de terracería vecinales a los canales de riego (Olgún-Espinoza, 1989), 5) combustibles y pinturas de actividades marítimas y 6) amontonamientos de chatarra en las vecindades.

La distribución de los metales en el medio acuático, al norte de la desembocadura del Río Colorado, se lleva a cabo a través de un sistema de canales de drenaje del Río Hardy al norte de la región, que capta una parte de las aguas de lavado de las tierras agrícolas y transportándolas,

finalmente, al alto Golfo de California (Warren, 1981).

Los pocos estudios que existen en el alto Golfo de California con el propósito de determinar las concentraciones de metales traza en organismos como Tilapia sp. y Cyprinus carpio, concluyen que ninguna de las muestras de músculo axial excede los niveles preestablecidos por la legislación de Salud Pública (Rojas-Reynosa, 1987). En otro estudio (Olguín-Espinoza, 1989) en las almejas Corbicula fluminea, Chione californiensis y en el mejillón Modiolus capax, no encontró concentraciones de metales traza que presenten riesgo alguno para la salud, a excepción del cadmio en la parte del golfo el cual presentó 3.84 µg/g en peso húmedo, comparados a 1.0 µg/g en peso húmedo que propone la FAO para moluscos.

Como podemos observar, hasta la fecha no existen estudios en el delta del Río Colorado con el objeto de conocer las condiciones espaciales y temporales de la concentración de metales traza y pesados en organismos que constituyen la base de la cadena trófica.

El aporte continuo al medio acuático de material particulado con metales traza asociados, por las fuentes ya mencionadas, aunado a las características biológicas propias

del zooplancton, se podría reflejar en altos niveles de concentración. Además, los atributos físicos que caracterizan la dinámica de las aguas en la desembocadura del río Colorado como el amplio rango de mareas y la gran turbidez (De la Peña, 1991), condicionan la distribución espacio-temporal homogénea de los metales medidos en el zooplancton.

1.2 Justificación

El delta del Río Colorado es considerado como una zona de gran importancia tanto ecológica como económica, ya que es una área de reproducción de peces y crustáceos principalmente (Berdegue, 1955; citado en SRH-UABC, 1973) y de moluscos bivalvos.

Los esfuerzos oceanográficos en esa región que se han realizando desde hace algunos años, van generando una infraestructura científica del cuadro ambiental y potencial para el desarrollo de maricultivos (Acosta-Ruíz y Alvarez-Borrego, 1974; Alvarez-Borrego y Chee-Barragán, 1976).

Se propone la realización de un estudio que permita conocer los niveles de metales traza y pesados que se encuentran biodisponibles en el medio acuático del área

mencionada a través del análisis cualitativo y cuantitativo de éstos en los cuerpos de los organismos zooplanctónicos que se encuentran vivos en el lugar. Diferentes autores recomiendan que es adecuado usar organismos de los primeros niveles tróficos como el zooplancton; debido al papel que representan en los ciclos biogeoquímicos (Fowler, 1977; Martin y Knauer, 1973; Morel y Laurens, 1983; Soule, 1988), además por que son capaces de acumular concentraciones de 1×10^2 a 1×10^5 veces mayores a las concentraciones típicas de metales traza en el agua de mar (Martin y Knauer, 1973; Rainbow y White, 1989; Brzezinska et al., 1981).

Este tipo de estudios, acompañados de los toxicológicos en lo que ha metales traza y pesados se refiere, pueden preveer y controlar los efectos adversos a una biomagnificación de metales pesados que pongan en peligro a los organismos, principalmente a los que representan el potencial alimenticio y económico.

Ayudados de las modernas técnicas de análisis químico cuali y cuantitativo es factible conocer con mucha precisión el contenido de metales en organismos de zonas pesqueras; y hacer inferencias que se integren al planeamiento adecuado y sostenido de industrias, campos pesqueros y agrícolas entre

otros, en nuestro país.

En la realización del presente estudio existe otro interés, por parte de las cooperativas del Valle de Mexicali, B.C. y del norte de Sonora, que sea parte integral del conocimiento científico del cuadro ambiental para el establecimiento de granjas camaroneras en la región del alto olfo de California, específicamente en el área de la desembocadura del Río Colorado. En apoyo a lo anterior, el Instituto de Investigaciones Oceanológicas y la Facultad de Ciencias Marinas de la U.A.B.C., desarrollan un programa oceanográfico integral en las diferentes áreas del conocimiento químico, biológico, físico y geológico.

Esta tesis forma parte del proyecto de Investigación "Distribución y Abundancia Espacio-Temporal de las Comunidades Zooplanctónicas de la Parte Alta del Golfo de California", apoyado por la Dirección General de Investigación Científica de la Secretaría de Educación Pública (DGICSASEP), a través del convenio C90-01-0376.

1.3 Objetivo

El presente estudio de investigación pretende estimar las concentraciones de los metales traza como el Al y/o pesados como el Mn, Cu, Zn, Fe y Hg que contiene el zooplancton presente en la desembocadura del Río Colorado en el alto Golfo de California.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Descripción del Area de Estudio

La desembocadura del Río Colorado en el alto Golfo de California adopta una forma semejante a un triángulo o delta (Lepley et al., 1975), se encuentra geográficamente localizada entre los 31° 41' y 31° 59' N y los 114° 36' y 115° 03' W, entre los estados de Sonora y Baja California (Fig.1). El clima que predomina es seco semicálido, con temperaturas atmosféricas que varían durante el año de 0 C a 55 C, con un promedio de 23 C. La evaporación promedio anual es de 2,400 mm. La precipitación mínima es de 50 mm y la máxima de 300 mm, con lluvias especialmente en verano (Contreras, 1988).

Martínez-Rojas (1990) observó, en un estudio sobre las condiciones hidrológicas, una temperatura mínima superficial de 9.8 C en diciembre y una máxima de 31.4 C en agosto. Se calcula una temperatura promedio anual de 23.5 C.

Prácticamente no existe ningún aporte de agua dulce, lo que propicia las elevadas salinidades registradas, presentándose una condición antiestuarina la mayor parte del año (SRH-UABC, 1973).

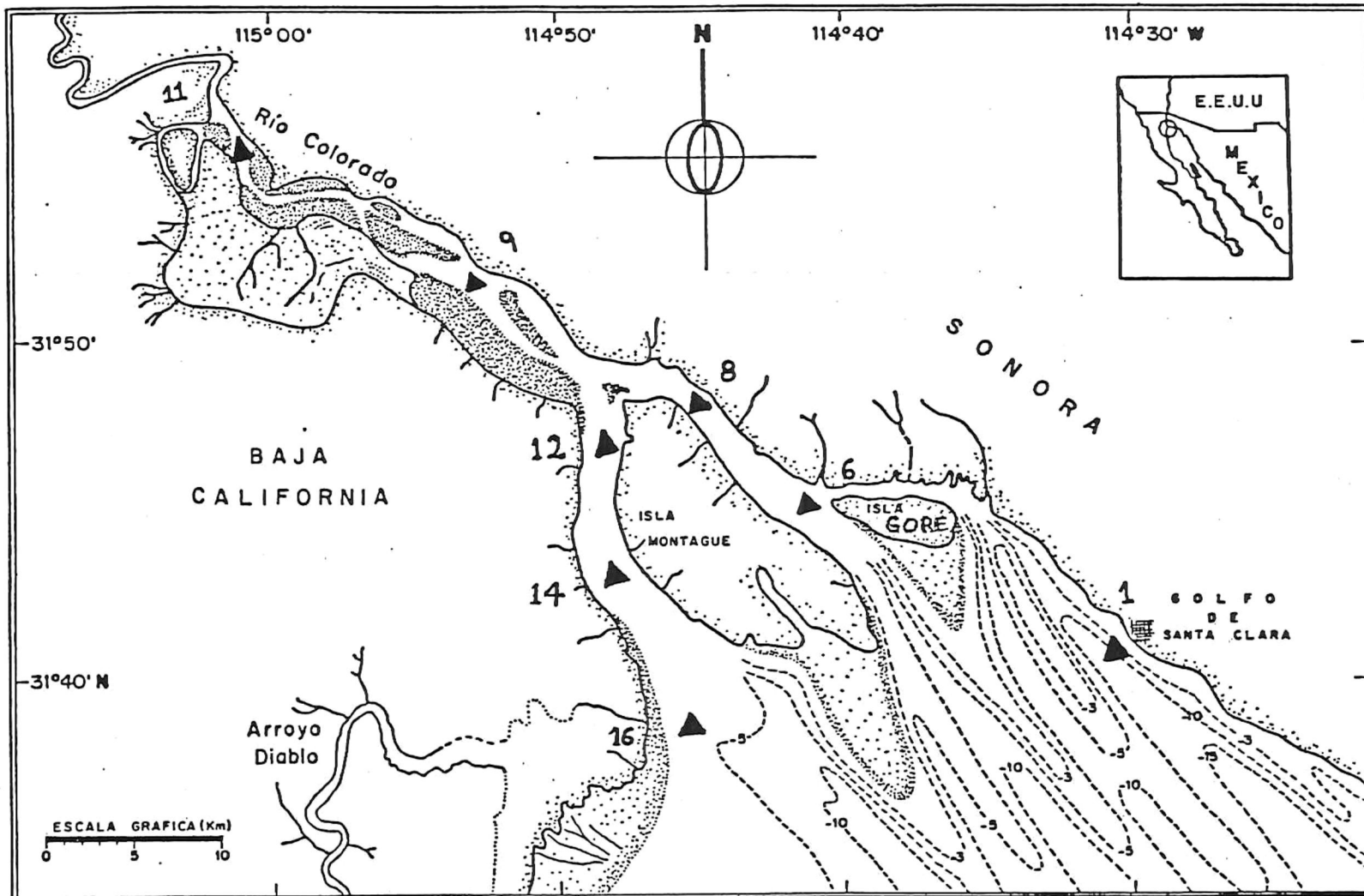


Figura 1. Area de estudio y estaciones de colecta para zooplancton, en la desembocadura del Río Colorado, alto Golfo de California .

La salinidad mínima registrada fué de 33.377 o/oo en el mes de febrero y una máxima de 39.254 o/oo en agosto. El gradiente de salinidad disminuye de la boca hacia el río. Esto puede ser debido a un posible aporte de agua dulce por el Río Colorado mediante filtración a través de los sedimentos; y aumenta durante el flujo de la marea, por la influencia predominante de aguas oceánicas y fuertes procesos de evaporación (Martínez-Rojas, 1990).

En el área de estudio, las mareas se encuentran entre las de mayor rango en el mundo. Durante primavera se han medido fluctuaciones de más de 9 metros y son predominantemente de tipo semidiurno, con un patrón de 2 mareas altas y 2 bajas en un período de 24 horas (Bourillon-Moreno et al., 1988).

La resuspensión de sedimentos del Río Colorado, es debido principalmente a las corrientes de marea en ésta región (SRH-UABC, 1973), produciendo una turbidez constante de las aguas cercanas a la costa; extendiéndose más hacia el sur de la parte cercana a la costa de Sonora, indicando una circulación neta en el sentido contrario de las manecillas del reloj, sin considerar el flujo y reflujo de las mareas (Alvarez-Borrego y Galindo-Bect, 1974), confirmándose en la distribución de partículas en

suspensión mostrada por las fotografías del satélite ERST-I (SRH-UABC, 1973).

El contenido orgánico de estas aguas es muy alto, lo que ocasiona que la zona del extremo norte del golfo sea muy rica en bacterias, plancton, peces, moluscos y crustáceos juveniles (Bourillon-Moreno et al., 1988).

La vegetación está esparcida y restringida a lo largo del fondo lodoso que hay en la planicie deltaica. En general, Salicornia sp. constituye la mayor biomasa de las plantas de marisma (Meckel, 1975).

En la zona de la boca de la cuenca del Río Colorado existen canales submarinos separados por barras de sedimentos que emergen en islas (Bourillon-Moreno et al., 1988). Tales son los casos de la Isla Montague que es la de mayor extensión, situada más al norte, y de la Isla Gore, de menor tamaño, situada entre la Isla Montague y la costa de Sonora (Fig. 1) (Rojas-Reynosa, 1990).

El vasto contenido de sedimentos de origen continental, acarreado en su mayoría por el Río Colorado, presenta una mezcla porosa y compleja compuesta de yeso, halita y arcillas limosas que cubren aproximadamente del 80 al 90% (Thompson, 1968). Palacios-Fest et al. (1988),

en un estudio textural del sedimento, encuentran una composición del 39% de arena y 61% de limo y arcilla. La composición mineralógica en éstos sedimentos fué de 71.2% de cuarzo, 9.7% de micas, 6% de minerales pesados y fragmentos de rocas, 5.1% de materia orgánica, 4% de carbonato de origen orgánico y 3.6% de feldespatos.

2.2 Procedimiento de Colecta del Zooplancton

Por el tipo del estudio es de particular importancia evitar la contaminación de las muestras con metales, principalmente los que van a ser motivo de análisis, provenientes de material corroído, pintado ó combustibles (Falandysz, 1983).

Para el estudio se colectaron muestras mensualmente, desde abril de 1990 hasta octubre del mismo año; con excepción del mes de agosto. Se eligieron siete localidades de muestreo (Figura 1) distribuidas a lo largo de la desembocadura del Río Colorado. El tiempo necesario para recorrer las estaciones fijadas fué de dos a tres días debido a la distancia que hay entre cada una de ellas y a las condiciones de navegación y marea.

Se utilizaron dos redes estandares de zooplancton de

Nylon, de luz de malla de 500 μm (No. 0) y de 202 μm (No. 8), provistas con un flujómetro metálico previamente calibrado y un copo de PVC con ventana de flujo lateral del mismo tipo que el de la red. Las redes tenían en la boca un aro metálico de 50 cm de diámetro en donde se fijaban con bridas que eran tiradas por un cabo de arrastre de Nylon de 3/4 de pulgada de diámetro desde la embarcación, que era una lancha tipo paseña de 23 pies de eslora con motor fuera de borda de 45 caballos de fuerza.

En cada estación de muestreo la red se arrastró por la superficie durante 1.0 a 2.50 minutos, filtrando, entre 100 y 300 m³ de agua de mar. Con el fin de evitar que el flujo de agua turbulenta provocada por la propela del motor entrara por la boca de la red, la embarcación describía transectos de forma circular.

Al colocar la red dentro de la embarcación se procuró que el sitio elegido estuviera perfectamente limpio, libre de gasolina ó material oxidado. La muestra se vertía a un frasco (de plástico) previamente etiquetado, libre de iones metálicos. Las muestras se conservaban en una hielera de plástico que contenía hielo con sal hasta el arribo al laboratorio. Una vez en él, se transfirieron a un a un congelador que las mantuvo a una temperatura de -20°C

hasta el momento de su análisis.

2.3 Descontaminación del material para el análisis químico Cuantitativo

El material de plástico (polipropileno) y vidrio fué descontaminado con ácido clorhídrico (HCL) al 50% y ácido nítrico (HNO₃) al 50%, respectivamente.

2.4 Descongelado y limpieza de las Muestras (con algunas consideraciones)

La noche anterior al análisis las muestras eran lentamente descongeladas dentro un refrigerador. Una vez descongeladas, los frascos eran lavados por fuera con agua desionizada.

Las muestras de campo se agruparon por estaciones iguales, excepto aquellas que contenían la cantidad de material requerido por la técnica de digestión.

La limpieza fue un minucioso proceso debido a que la mayoría de las muestras fueron tomadas en aguas muy turbias que contenían una buena cantidad de arenas, limos, detritus, restos de pastos y semillas terrestres (gramineas) que no son fácilmente reducidos por el ácido; además, la comunidad

zooplanctónica estaba asociada a consumidores terciarios como peces juveniles y organismos bentónicos no deseados en las muestras por analizar. La muestra se vertía sobre una charola de plástico limpia (50 cm x 35 cm x 2.5 cm), ligeramente inclinada sobre una mesa para que escurriera y facilitara la separación de los organismos de la materia no deseada con unas pinzas de plástico. Por último, se pasaron 2 magnetos con cubierta de plástico para extraer pequeños pedazos de metal.

2.5 Filtrado y Homogenizado de las Muestras

Una vez limpias las muestras, se hicieron pasar por un juego de tamices de 300 y 120 μm donde se lavaron con agua desionizada. Las muestras que mostraban una gran cantidad de material no deseado eran desechadas.

Para secar los excesos de agua de la muestra, se colocaron las mallas sobre papel secante por unos minutos. Después se traspasaban a un vidrio de reloj con ayuda de una espátula de teflón. Las muestras en el vidrio de reloj fueron homogenizadas con navajas de acero inoxidable.

2.6 Procedimiento Químico

Las muestras fueron digeridas con ácido nítrico (HNO_3)

doble destilado y aquellas que se analizarán cuantitativamente de mercurio fueron digeridas en una mezcla de ácidos 2:1 ($H_2SO_4 : HNO_3$), siguiendo la técnica sugerida por Stephenson et al. (1979) modificada por el mismo. En cada digestión se corrieron blancos y estandares de la NBA de tejido de ostión certificados por National Institute of Standard on Technology de E.U.A. (NIST).

2.7 Obtención de Peso Seco (PS)

- 1) Se obtuvo el peso constante de las navecillas hechas de aluminio, calentándolas en el horno a $64^{\circ}C$ por 90 minutos. Se dejaron enfriar colocándolas dentro de un desecador. En todo momento, el manejo de las navecillas se realizó con pinzas.
- 2) Se pesaron las navecillas y se les agregó de 0.7 a 1.0 g de muestra húmeda homogenizada.
- 3) Se calentaron en el horno a $70^{\circ}C$ por 120 horas.
- 4) Se sacaron del horno y se dejaron enfriar dentro del desecador, de 5 a 8 minutos.
- 5) Se pesaron con una exactitud de diezmilésima de gramo, en una balanza digital Metler.

2.8 Cálculo de las Concentraciones de los Metales

La cuantificación de los metales Zn, Mn, Cu y Fe se hizo por espectrofotometría de absorción atómica de flama (EAA) utilizando una mezcla de aire-acetileno y de acetileno-óxido nitroso para el Al. El Hg se cuantificó por el método de vapor frío propuesto por Stainton. Los resultados están reportados en $\mu\text{g/g}$ peso seco y se calcularon con las siguientes relaciones:

$$\mu\text{g/ml} \times 25 \text{ ml (volumen final)} / \text{g (peso húmedo)} \times F = \mu\text{g/g PS}$$

$$F = \text{g tejido húmedo} / \text{g peso seco} = (\text{factor de peso seco})$$

El cálculo para la concentración de mercurio es :

$$[\text{Hg}] \text{ ng} \times F / \text{g peso húmedo} = \text{ng/g peso húmedo}$$

$[\text{Hg}]$ = concentración de mercurio de la muestra (ng), comparado con la absorbancia de la curva estándar. F (factor adimensional de inyección) = $\text{Vol. final (g/ml)} - \text{Peso tubo} / \text{Vol. final} - \text{Vol. inyectado}$

2.9 Análisis Estadístico

Posteriormente al análisis químico cuantitativo, se promediaron los valores de las mismas estaciones que tenían más de un valor por mes. En el análisis estadístico se usaron los valores promedio de estación por mes. Con éstos datos se obtuvo la media (\bar{X}), desviación estándar (DS) y

coeficiente de variación (CV) para cada metal.

Para justificar los análisis de varianza se realizó una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1973). El grupo de datos que no se ajustaban a una distribución normal se transformó con el logaritmo en base 10 ($\log x$). Además, se probó la homogeneidad de varianzas mediante la F_{\max} de Hartley (Winer, 1971). Para determinar el grado de asociación que guardaban los niveles de los metales se empleó un análisis de correlación de Pearson (Zar, 1973).

Después, de manera individual se analizó la variación de los factores espacial y temporal de cada metal con un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Y con el propósito de saber si había interacción entre los factores se usó el análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, excepto para el Hg por tener escaso número de muestras.

Por último, se analizó la asociación geográfica que pudiera existir entre las estaciones haciendo una matriz de promedios temporales por metal para cada estación; previo al análisis de asociación Cluster se estandarizaron las escalas de los valores de concentración con una distribución z (Zar, 1973).

2.10 Uso de Estándares Certificados del NIST-EUA

En la tabla I se muestran los metales traza y pesados medidos en los estándares de tejido de ostión (NBS-1556a) usados en el presente estudio comparados con los valores certificados por la NIST-EUA. Los metales medidos se recuperaron en porcentajes de 90.62 a 97.09 %, a excepción del aluminio con un 44 % .

Tabla I. Comparación de concentraciones de los metales traza y pesados en las muestras de control certificadas por el National Bureau of Standards (NBS), EUA, con las analizadas.

REFERENCIA	Mn	Zn	Fe	Cu	Hg	Al
[I.I.O.] PROMEDIO (n=5)	13.39	867.88	584.64	68.63	0.058	123.62
s	+0.872	+53.39	+33.11	+ 4.13		+ 3.34
% DE RECUPERACION	91.14	95.5	92.00	97.09	90.62	44.0
[NBS]	12.3	830.0	539.0	66.3	0.064	202.5
s	+1.5	+ 57	+ 15	+4.3	+0.006	+12.5
% DE RECUPERACION	97.8	93.13	97.21	93.51	89.56	93.82
LIMITE DE DETECCION [μ g/g PS]	0.04	0.16	0.10	0.06	0.02	0.10

Notas: Límite de detección = $2s(STD/[x])$
s = desviación estandar.
x = concentración promedio de 5 determinaciones.
STD = estandares de laboratorio de los metales, en ppm.
concentración = [μ g/g peso seco (PS)]

3. RESULTADOS

3.1 Resultados del los Análisis Estadísticos

Los valores de significancia (α) al 95 % de confianza para la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y otros valores de estadística descriptiva, se muestran en el anexo I.

Los valores que resultarán del análisis de correlación de Pearson se muestran en la tabla II.

El análisis de variación espacial y temporal de las concentraciones promedio que resulta de ANOVA de 1 y 2 vías se encuentran en los anexos II y III.

El resultado gráfico del análisis de asociación Cluster en distancias euclidianas para observar la similitud geográfica del grupo de estaciones se presenta en la figura 2.

Los grupos de estaciones observadas con mayor similitud espacial; es decir, con distancias euclidianas cortas, no presentan patrón geográfico alguno. Solo observamos que se presenta como la menos similar al resto, la estación 11.

Tabla II. Correlación producto-momento de Pearson entre metales traza detectados en muestras de Zooplancton (n = 33).

	Mn	Cu	Zn	Fe*
Cu	0.1885 0.2935 NS			
Zn	-0.2685 0.1308 NS	0.1850 0.3028 NS		
Fe*	0.3888 0.0253 S	0.3262 0.0639 NS	-0.0307 0.8655 NS	
Al	0.8588 0.0000 S	0.0493 0.7851 NS	-0.2049 0.2528 NS	0.2780 0.1173 NS

NOTAS:

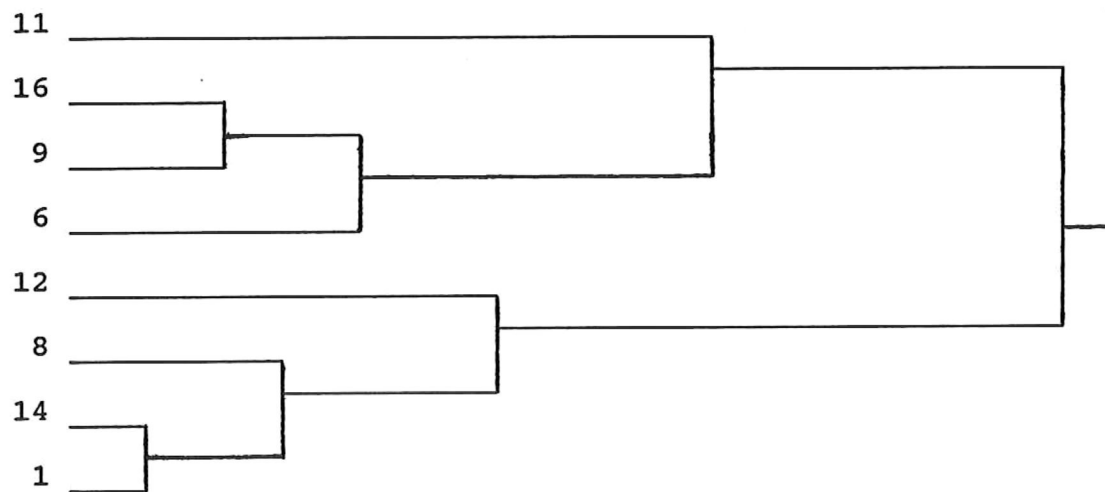
- 1er.) Coeficiente de Correlación
- 2o.) Nivel de Significancia
- 3o.) NS, no significativo; S, significativo

Nivel crítico de correlación = 0.34,
($\alpha = 0.05$, gl = 31)

*, Datos transformados por logaritmo en base 10.

Figura 2. Gráfica del análisis Cluster de similitud geográfica entre estaciones en distancias Euclideanas.

ESTACION #



Los altos porcentajes de las concentraciones recuperadas de los estándares de la NBS, excepto para el aluminio, le dan confiabilidad a los valores obtenidos en las muestras de zooplancton.

3.2 Manganeso (Mn)

La tabla II muestra los valores positivos de éste metal obtenidos del análisis de correlación de Pearson entre las concentraciones promedio de los metales traza determinados en el zooplancton. Las correlaciones son: Mn : Al y Mn : Fe.

En la figura 3 se ubicaron más del 50 % de los valores de concentración promedio por fuera del intervalo al 95 % de confianza, sin tener diferencias espacial y temporal ($p > 0.05$; Anexos II y III). Sin embargo, en la misma figura podemos observar que en las estaciones 11, 8 y 1 hubo una mayor dispersión temporal de los datos, lo contrario sucedió en las estaciones 12, 9 y 6.

3.3 Cobre (Cu)

La figura 4 muestra los valores de concentración promedio de cobre, se presentaron más del 50 % de éstos fuera del intervalo al 95 % de confianza, sin tener

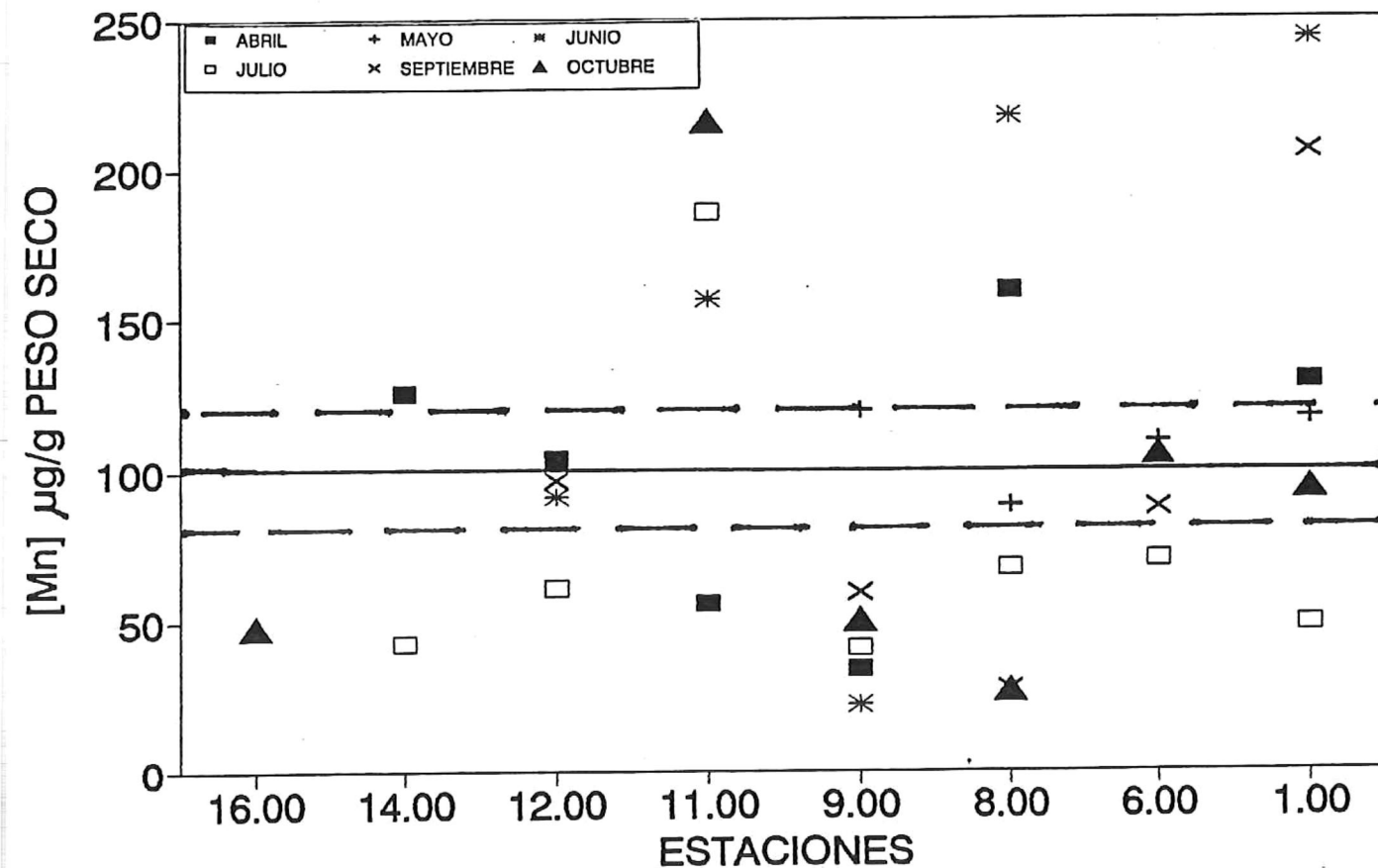


Figura 3. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Mn en zooplancton. Media (—), intervalo (- -).

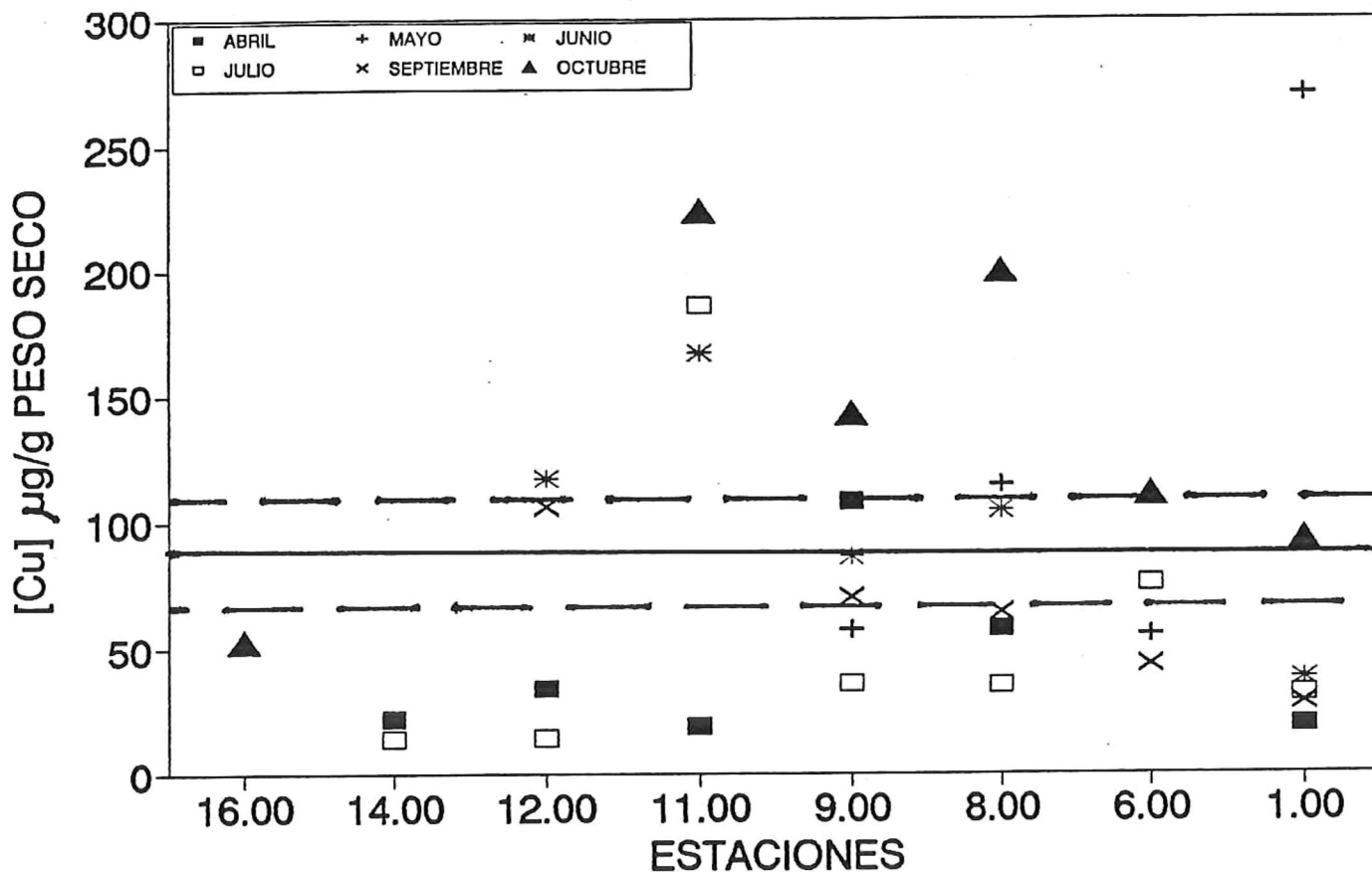


Figura 4. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Cu en zooplancton. Media (—), intervalo (- -).

diferencias espaciales y temporales significativas, aunque el valor de las diferencias temporales de 1 vía está en el límite ($p = 0.05$; Anexo III).

También observamos en la figura 4 que los valores en las estaciones 11, 8 y 1 tuvieron una dispersión temporal mayor con un valor en octubre, octubre y mayo, respectivamente; al contrario con una menor dispersión, la estación 6.

3.4 Zinc (Zn)

Más del 50 % de los valores de concentración promedio para éste metal salieron del intervalo al 95 % de confianza (Fig. 5). En la variación espacial no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$; Anexo II). La variación temporal del zinc fué evidente con diferencias significativas ($p < 0.05$; Anexo III).

Las estaciones con la mayor dispersión temporal fueron: 9 en octubre y 8 en septiembre y octubre.

3.5 Fierro (Fe)

Este grupo de datos se transformó con el logaritmo en base 10 ($\log x$) para ajustarlos a una distribución normal y

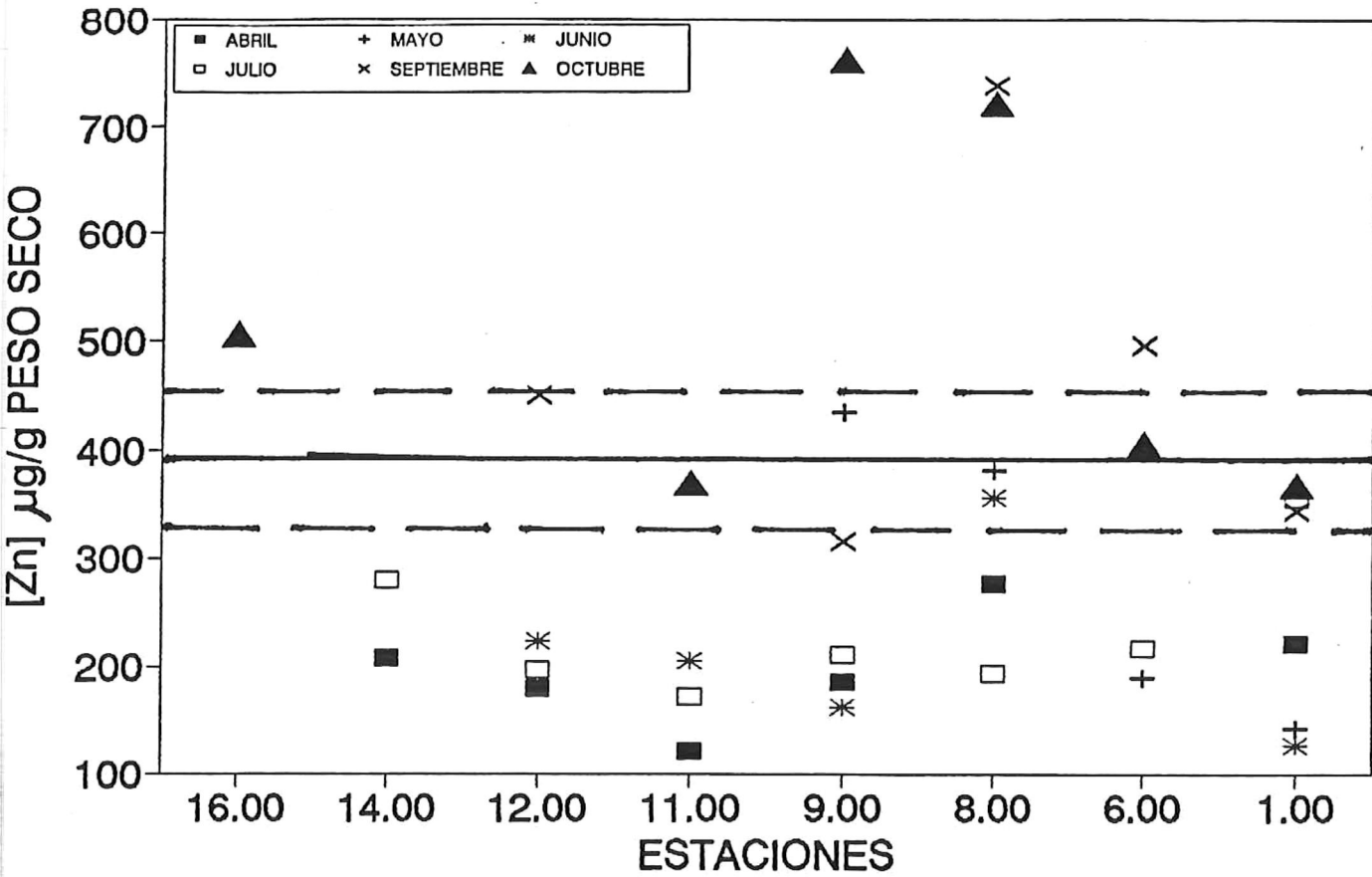


Figura 5. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Zn en zooplancton. Media (—), intervalo (- -).

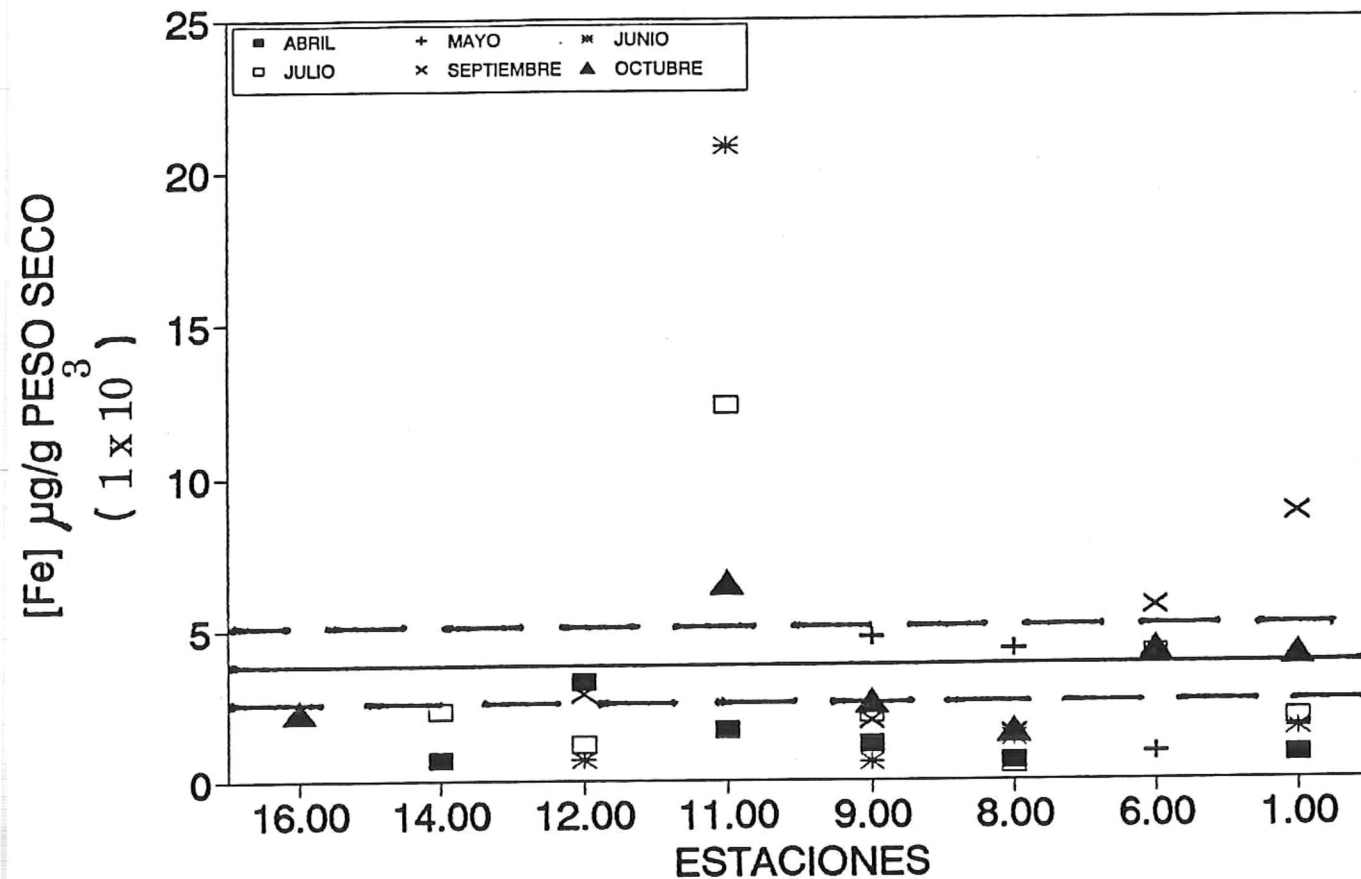


Figura 6. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Fe en zooplancton. Media (—), intervalo (- -).

así ser analizados mediante estadística paramétrica (Anexo I). Las variaciones espacial y temporal no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$; Anexos II y III).

En la figura 6 se observó el 51 % de los valores por fuera del intervalo al 95 % de confianza. La dispersión temporal en las estaciones fué poca, a excepción de la estación 11.

3.6 Aluminio (Al)

Para éste metal se observó el 51 % de los valores fuera del intervalo al 95 % de confianza (Fig. 7). No hay diferencias significativas en la variación temporal ($p > 0.05$; Anexo II), así como la variación espacial ($p > 0.05$; Anexo II) en ANOVA de 1 vía, pero juntado ambos factores si es significativamente diferente ($p < 0.05$; Anexo IV).

3.7 Mercurio (Hg)

La figura 8 muestra que la mayoría de los valores promedio se localizan fuera del intervalo al 95 % de confianza. La mayor dispersión temporal se encontró en la estación 12 en mayo y la menor en la estación 6 durante mayo y junio.

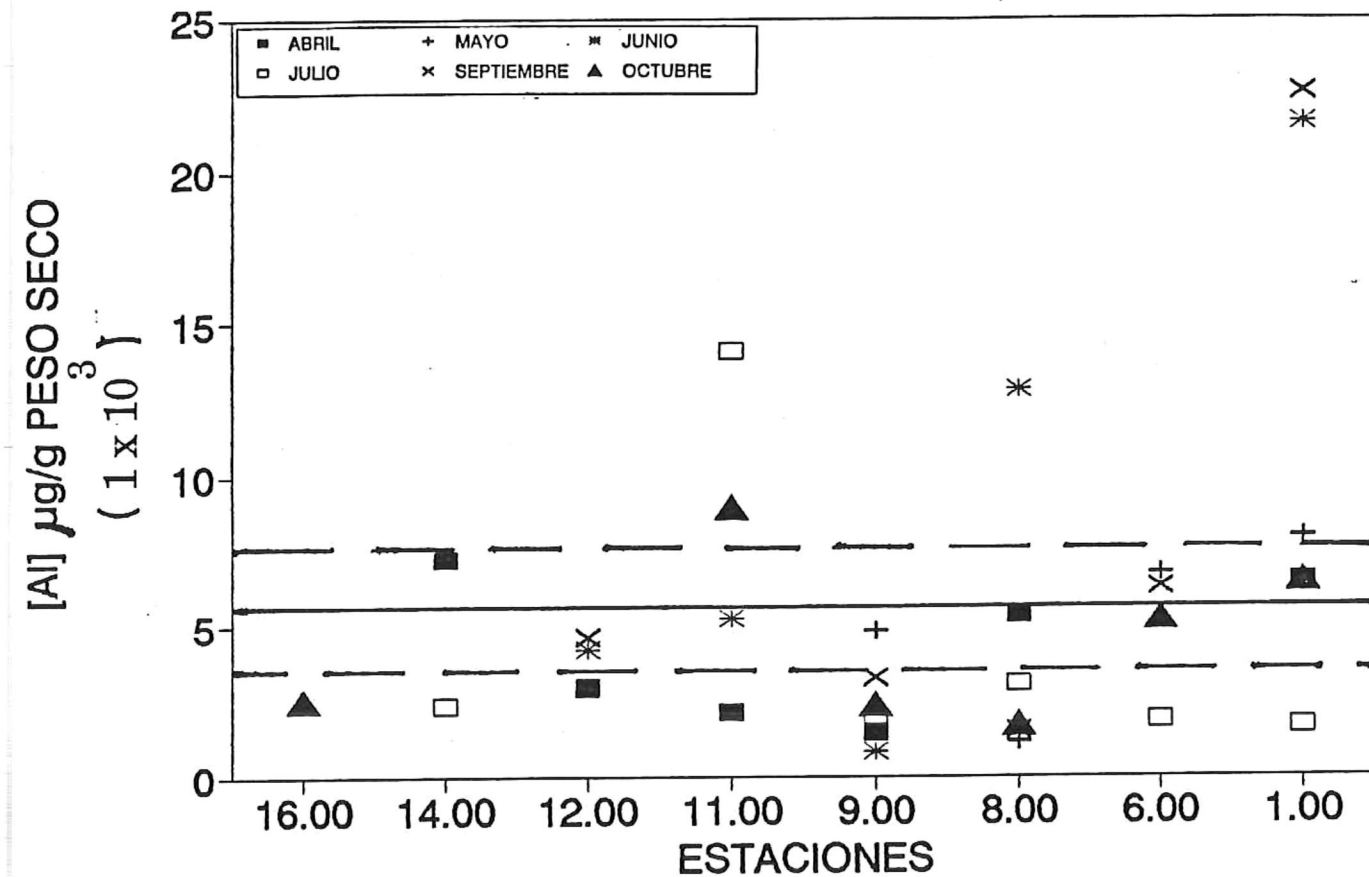


Figura 7. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Al en zooplancton. Media (—), intervalo (- -).

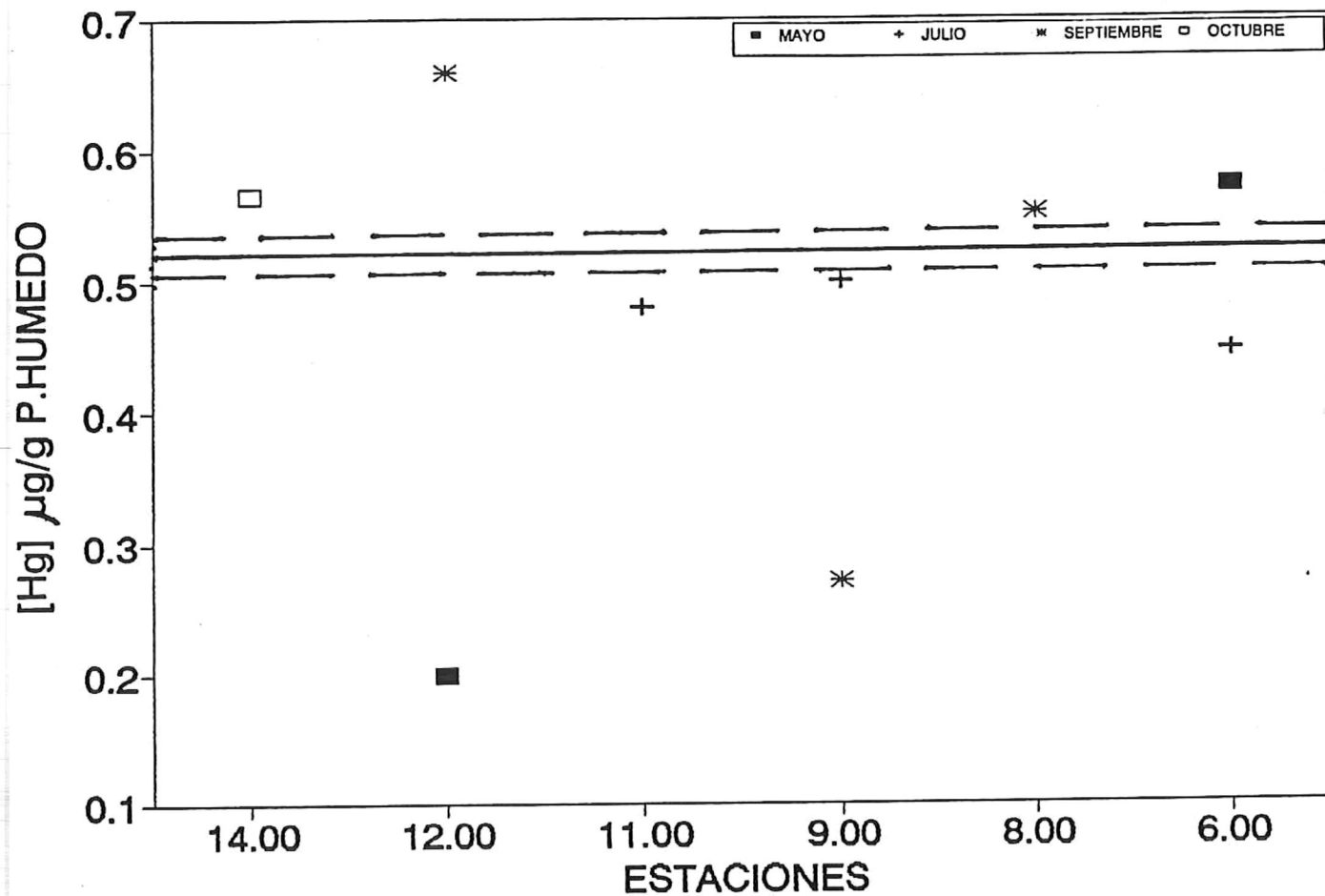


Figura 8. Media e intervalo ($\alpha = 0.05$) de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ peso seco) promedio de Hg en zooplancton, Media (—), intervalo (- -).

4. DISCUSIONES

El estudio determina los niveles de concentración de los metales traza Al, Fe, Cu, Zn, Mn y Hg en el zooplancton que habita en las aguas de la cuenca vertiente del delta del Río Colorado. Lo siguiente es un breve bosquejo del panorama ambiental del área de estudio en donde se realizaron los muestreos y las situaciones que afectan el comportamiento del material particulado (detritus) y soluble, de origen orgánico e inorgánico que contienen a los metales traza.

La región representa un estero en zona árida, aún por la falta de aporte continuo de agua dulce (SRH-UABC, 1973; Martínez-Rojas, 1990). Las condiciones atmosféricas de la región son de baja humedad relativa con vientos del noroeste durante la mayor parte del año y algunas ráfagas arrastrando tolvaneras en verano-otoño.

Dos agentes importantes de erosión natural son los vientos y los ciclos del nivel de mareas (NM) que constan de dos mareas quincenales (Máximos de NM, mínimos de NM) y dos semidiurnas (NMSuperior ó subiendo, NMInferior ó bajando); éstos agentes físicos que se reflejan en su amplio rango de mareas y caracterizan la condición constante de alta energía hidrodinámica, afectan la distribución del material

particulado y soluble (SRH-UABC, 1973).

Estudios de la mezcla y transporte de sedimento suspendido en aguas de esteros con amplio rango de mareas en la costa atlántica de Francia mencionan que los ciclos de marea quincenales y semidiurnos son los agentes físicos que controlan las grandes variaciones de los procesos de mezcla y distribución del material detrítico particulado (Allen et al., 1980) y soluble.

La mayoría de los muestreos (68 %) se realizaron durante NMS en los MNM, a excepción de septiembre efectuado en la quincena de mNM y la estación 11 que dado el diseño del muestréo se efectuó en el tiempo entre NMS y NMI. Es de hacer notar el aumento de material en suspensión (turbidez) al alejarnos de la estación 1 hacia el noroeste del río (Fig. 1) que es comparable a la distribución del material en suspensión en SRH-UABC (1973).

Atendiendo la observación de las condiciones de marea en la estación 11, puede ser considerable desde el punto de vista que la altura de la columna se encontraba casi en su máximo, algo de material extra depositado en las aguas por la erosión natural y la favorable baja dinámica del agua junto con el detritus en suspensión propician condiciones

para las actividades como la alimentación del zooplancton, que como ya mencionamos son organismos con altas tasas de acumulación y excreción, y que pueden ser las causas de los niveles altos de Fe, Al, Mn, y Cu (Figuras 6, 7, 3 y 4) reflejados en la estación 11.

El comportamiento temporal disperso en los niveles de los metales Mn, Cu y Al (Figuras 3, 4 y 7) en la estación 1, de junio, septiembre y mayo son tal vez causados por la baja dinámica del agua y la relativa transparencia observada a causa del contenido detrítico, que propician condiciones para la alimentación y desarrollo.

Las aparentes variaciones del Fe son por la localidad geográfica, profundidad y relaciones inter e intraespecies. Su requerimiento esencial como parte de los pigmentos respiratorios (Eisler, 1981) puede ser demandada por la intensa actividad de alimentación y crecimiento.

Cabe mencionar la erosión hidrodinámica causando los deslaves del material terrígeno, que forma los bordes del río, durante los flujos de marea y con mayor fuerza en aquellas zonas donde se desvía el curso de la vertiente, definiendo así zonas de cambio en la dinámica de las aguas, como ejemplos las pronunciadas desviaciones del río al

noroeste de la estación 11 y la punta noroeste de la Isla Montague (Fig. 1); ésta última zona forma una disyuntiva de aguas con rápidos. La estación 8 se encuentra en una zona de cambio hidrodinámico que favorece el consumo de material por el zooplancton, lo que puede justificar los niveles observados en los metales Mn, Cu, Al y Zn (Figuras 1, 3, 4, 7 y 5).

El Fe, Mn y Al están asociados en su mayor parte al material terrígeno. El Al también se puede encontrar en los complejos detríticos de origen terrígeno presuponiéndose una ingestión conjunta con los elementos esenciales a que se asocia (Ortega-Lara, 1991). El Mn en general se encuentra en altas concentraciones en los exoesqueletos y tejidos calcificados (Eisler, 1981). Estas causas pueden estar reflejadas en los valores significativos de la correlación de Pearson ($p < 0.05$) de Mn:Al y Mn:Fe (Tabla II).

El estudio de partículas en suspensión por SRH-UABC (1973), reporta porcentajes considerables del contenido de materia orgánica que junto con el fitoplancton representan fuentes básicas de alimentación para el zooplancton y determinan, en cierta medida, la distribución de éste y otros organismos que se alimentan de él. El análisis de similitud geográfica para las estaciones de los niveles de

concentración de metales traza cuantificados en zooplanton no define con claridad alguna zona en particular. Esto puede ser debido, en parte, a la magnitud escalar de variación de los fenómenos físicos que están involucrados en la distribución del material detrítico y los organismos de un área dinámica, así como también al hecho de que sólo se muestreo una parte del ciclo estacional (primavera-verano a otoño) y que no están representadas el 100 % de las estaciones en cada uno de los muestreos. Sin embargo, las estaciones más disímiles, es decir con distancias Euclidianas mayores, en un grupo cada una son la 11 y 12 (Fig. 2).

El Zn es un nutriente que está presente en los tejidos vivos en concentraciones similares al Fe y usualmente es más concentrado que el Cu y Mn (Mak, 1972) situación que se manifiesta en los niveles de concentración de éstos metales en el presente estudio. El Zn es un metal esencial por su desempeño como biocatalizador de las enzimas digestivas y en estudios toxicológicos se ha visto la interferencia en la utilización del Fe y Cu (Mak, 1972).

Estos fenómenos evidenciados nos llevan a suponer que pueden ser causa del comportamiento temporal común observado a lo largo de las estaciones (Fig. 4) en octubre,

septiembre, abril, mayo, junio y julio (más tenue), inverso al comportamiento observado a lo largo de las estaciones (Fig. 3) en octubre, septiembre, mayo, junio y julio (con variación mayor); éste último comportamiento temporal continua en los niveles de los metales correlacionados al Mn, el Fe (Fig. 6) en octubre, septiembre y abril y, en el Al (Fig. 7) en octubre, septiembre, abril y mayo.

La explicación de la composición observada de los metales traza es muy compleja por que comprende la localización geográfica, variaciones biológicas, así como cambios en la composición de las especies (Martin y Knauer, 1973).

El Hg es metal traza, su aporte antropogénico al medio es por el uso de pesticidas en el valle agrícola de Mexicali, Son. Los estudios toxicológicos revelan cierta tendencia a la bioacumulación en la cadena trófica. Los niveles revelados en el análisis son comparables a los reportados en la literatura citada. Es necesario hacer un estudio con más atención sobre éste metal.

Los estudios toxicológicos del Cu en solución revelan efectos nocivos a bajas concentraciones, pero se considera metal esencial por la alta concentración en la sangre de los

crustáceos y formar parte de los pigmentos respiratorios. El Cu al igual que el Fe están involucrados en el proceso respiratorio y además la interferencia en su utilización observada por Mak (1972), aunque en el presente estudio no se manifieste una correlación significativa entre ellos ($p > 0.05$; Tabla II). En las figuras 4 y 5 se ve cierta tendencia temporal de los niveles en octubre y septiembre (estaciones 9, 8, 6 y 1); Estas variaciones tal vez son debidas al origen y aporte de Cu más incidental, contrastado con el origen y aporte del Al o Mn, por ejemplo.

Las variaciones temporales de los niveles de metales en octubre y septiembre (otoño), parecen estar relacionadas con la composición de las poblaciones dominantes de los grupos copépodos y quetognatos (Tabla III). Al respecto éstos grupos tienen una tendencia menor y más variable en abril, mayo, junio y julio (primavera-verano), que se reflejan con esa tendencia en las concentraciones de los metales traza Cu, Fe y Al de ese período.

Para hacer una comparación entre los niveles de concentración de metales traza analizadas en el zooplancton con los reportados en la literatura se presenta la tabla IV. Cabe mencionar que los copépodos predominaron casi en un 100 % en dos muestras del mes de octubre y se trabajaron con una

TABLA III. Promedio porcentual de abundancia en número de individuos de los grupos del zooplancton en el delta del Río Colorado.

	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	SEP.	OCT.
Copépodos	13.40	27.94	38.64	26.84	73.50	91.27
s	9.43	33.54	34.54	24.14	12.66	7.66
CV %	70.37	120.04	89.39	89.94	17.22	8.39
Quetognatos	47.98	8.40	24.84	45.77	19.99	3.67
s	23.08	7.07	27.53	24.85	17.88	4.25
CV %	48.10	83.97	110.83	54.29	89.44	115.80
Zoea	11.57	12.72	19.42	4.77	1.87	0.74
s	12.57	23.38	32.58	3.70	2.22	0.97
CV %	108.64	183.81	167.77	77.57	113.37	131.08
Ictioplancton	2.53	27.79	1.35	3.77	0.33	0.23
s	5.87	33.83	2.13	3.15	0.56	0.44
CV %	232.04	121.73	157.78	83.55	169.70	191.30
Huevos de Ict.	11.96	17.24	5.35	10.30	0.02	0.63
s	16.96	29.87	7.94	25.23	0.06	1.97
CV %	141.81	173.26	148.41	244.95	300.00	312.70
Eufausidos	9.13	2.25	1.55	1.50	0.63	0.35
s	21.39	3.21	2.57	2.09	0.79	0.56
CV %	234.28	142.67	165.81	139.33	125.40	160.00
Otros	3.43	3.66	8.87	7.05	3.66	3.11
s	-	-	-	-	-	-
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

NOTAS : s , desviación estandar
CV% , coeficiente de variación

réplica química; se reportan y analizan con las muestras de zooplancton. Cabe mencionar que los datos de distribución y abundancia se obtuvieron mediante conteos en réplicas de campo (Trujillo-Ortíz, comunicación personal).

Se resaltan en la tabla IV las diferencias de las concentraciones obtenidas con una clara tendencia hacia los valores altos e incluso en el Al a ser mayores en un orden de magnitud.

Es probable que la principal fuente de metales traza sean los abundantes minerales en el área de estudio descritos por Palacios-Fest et al. (1988) que son: en cuarzo Fe y Al; en micas Al, Fe, Mn, Na, entre otros; en minerales pesados Zn, Cu y Pb entre otros; en feldespatos K y Al entre otros y fragmentos de rocas de origen orgánico.

El medio ambiente aporta el material nutriente que mantiene las concentraciones altas, principalmente en el río y la vertiente occidental reflejada en su nivel de productividad durante todo el año (Hernández-Ayón; 1991); que mantiene a las poblaciones de zooplancton y pequeños peces.

El estudio de las adaptaciones del fitoplancton en el área muestran una mayor eficiencia de producción de

Tabla IV. Comparación de las concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) de los metales traza y pesados analizados contra los valores reportados en la literatura.

METAL	ZOOPLANCTON			COPEPODOS		
	REF.	\bar{X}	INTERVALO	\bar{X}	INTERVALO	REF.
Mn	*	100.4	34.23 - 240.90	38.82	24.88 - 58.60	*
	2	30.9	5.80 - 170.0	9.3	6.40 - 18.6	3
	7	51.3	8.11 - 157.0	4.4	2.8 - 10.4	4
	4	4.3	2.9 - 7.1			
Cu	*	84.83	21.7 - 269.88	143.5	126.21 - 228.69	*
	2	27.2	14.0 - 210.0	55.3	34.0 - 107.0	3
	4	11.5	6.2 - 58.4	32.6	5.9 - 129.1	1+
	6	20.0		10.5	9.0 - 22.6	4
			3.7		1	
Zn	*	318.88	121.15- 738.38	741.63	662.81- 781.23	*
	2	284.3	96.0 - 1030	1270.0	800.0 -2500.0	3
	4	180.0	50.0 - 750.0	113.0	62.0 - 170.0	4
	6	84.0				
Fe	*	3369.52	503.91-20807.3	2089.3	1374.32-3007.04	*
	7	5502.0	719.0 -10770.0	197.0	55.0 - 282.0	4
	2	719.8	52.0 - 4600.0	738.0	330.0 -2230.0	3
	6	287.0				
4	100.0	90.0 - 1720.0				
Al	*	5602.4	871.76- 3682.25	2066.96	1515.27-2735.32	*
	4	15.0	9.0 - 31.0	70.0	20.0 - 115.0	4
Hg	*	0.45	0.19 - 0.71	0.63	0.49 - 0.65	*
	6	0.74		0.29	0.16 - 0.44	3
	4	0.11	0.04 - 0.45	0.11	0.06 - 0.16	4

NOTAS : REF., referencia donde se reporta la concentración,
 * , concentraciones obtenidas en éste estudio.
 1 , Eisler, R. (1981); Golfo de México y NW del mar Mediterráneo; 1+, en la I. Baffin, Artico.
 (continúa)

- 2 , Falandys, (1984); Sur del mar Báltico.
 - 3 , Zafiropoulus, D. et al., (1979); Bahía de Elefis parte alta del Golfo de Saronikos, Grecia.
 - 4 , Martin y Knauer, (1973); Pacífico Oriental, - entre Hawaii y Bahía Monterey, California.
 - 5 , Mak, (1972); organismos de las costas del sur de California.
 - 6 , Katalin, Balogh (1987); Lago Balaton en Hungría.
 - 7 , Knauss y Ku (1983); cerca a las costas del Pacífico este. Luz de malla 0.50 - 100.0 μm .
- Copépodos, n = 4.

colorofila en respuesta a la turbidez (De la Peña; 1991), y es una clara razón para la presencia de los organismos zooplanctónicos que generan ciclos de interdependencias tróficas.

La capacidad adaptativa del zooplancton que habita en el delta del Río Colorado determina los rangos de tolerancia que les permiten tener los niveles de metales encontrados, haciendo más importante la cantidad de metales traza transferida hacia niveles superiores de la pirámide trófica, considerando sus capacidades de regulación.

En resumen, los niveles de metales traza analizados reflejan la respuesta fisiológica de adaptación a las condiciones del medio ambiente extremas de un estero en zona árida.

5. CONCLUSIONES

1. Los organismos zooplanctónicos en el área de estudio presentan concentraciones altas de metales traza y pesados.

2. La variabilidad temporal de los niveles de metales traza y pesados está directamente relacionada con la abundancia de los grupos característicos del zooplancton como copépodos y quetognatos.

3. Es probable que la variabilidad espacial de la concentración de los metales traza y pesados biodisponibles para el zooplancton sea la respuesta de las adaptaciones de los organismos a las exigencias y condiciones hidrológicas del área de estudio, pueden influir en sus rangos de tolerancia.

7. LITERATURA CITADA

- Acosta-Ruíz, M. de J. y Alvarez-Borrego, S. 1974. "Distribución Superficial de algunos parámetros hidrológicos, físicos y químicos en el Estero de Puntas Banda, B.C., en otoño e invierno". *Ciencias Marinas*, 1(1):16-45.
- Allen, G.P., J.C.Salomon, P.Bassoullet, Y.Du Penhoat y C. De Grandpré. 1980. "Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries". *Sedimentary Geology*, 26:69-90.
- Alvarez-Borrego, S. y L.A. Galindo-Bect. 1974. "Hidrología del Alto Golfo de California I, condiciones durante otoño". *Ciencias Marinas*, 1(1):46-64.
- Alvarez-Borrego, S., G. Ballesteros y A. Chee-Barragán. 1975. "Estudio de algunas variables fisicoquímicas superficiales en San Quintín, en verano, otoño e invierno". *Ciencias Marinas*, 2(2):1-9
- Anikouchine, W.A. and R.W. Stenberg 1979. *The world ocean and introduction to oceanography*. Prentice Hall, Inc. New Jersey. 338 pp.

- Bolaños, F. 1990. El Impacto Biológico, problema Ambiental contemporáneo. U.N.A.M., México. 476 pp.
- Brzezinska, A., Trzosinska, A., Zmijewska, W., Wodkiewicz, L. 1984. "Trace metals in some organisms from the southern Baltic". *Oceanology*, 18:79-94.
- Bourillen-Moreno, L., Cantu-Díaz Barriaga, A., Ambrosi-Eccardi, F., Lira-Fernández, E., Ramírez-Ruiz, J., Velarde-González, E. y Zavala-González, A. 1988. Islas del Golfo de California. Coedición Secretaría de Gobernación-UNAM. 75 pp.
- CAETEP. 1986. U.S. National Research Council. Ecological Knowledge and Environmental Problem-Solving. Nat. Academy Press. 388 pp.
- Carabias, J. 1990. "Hacia un manejo integrado" . *Ciencias*. No. Especial 4, Julio. Facultad de Ciencias, U.N.A.M. 112 pp.
- Clark D.R. Jr. y A.J. Krynitsky. 1983. "DDT, recent contamination in New México and Arizona". *Environ* 25(5):27-31.

- Contreras, F. 1988. Las Lagunas Costeras Mexicanas. 2a. ed. Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca. 263 pp.
- Cousteau, J. Y. 1985. The Ocean World. Abradale Press/Harry N. Abrams, Inc. New York. 446 pp.
- De la Peña Nettel G. 1991. Influencia de la turbidez sobre la producción orgánica primaria en la región del delta del río Colorado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. 80 pp.
- Eisler, R. 1981. Trace Metal concentration in Marine Organisms. Pergamon press, New York. 687 pp.
- Falandysz, J. 1984. " Trace metals and organochlorines in plankton from the southern Baltic ". Marine Pollution Bulletin. 15(11):6-418.
- Farfán, B.C. y S. Alvarez-Borrego 1983, "Variability and fluxes of nitrogen and organic carbon at the mouth of coastal lagoon". Estuarine, Coastal and Shelf Science 17:599-612.
- Fostner V.G.T. and W. Wittmann. 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 486 pp.

- Fowler, S. W. 1977. "Trace elements in zooplankton particulate products". *Nature.*, 269:51-53.
- Guardado-Puentes J. 1976. "Concentración de DDT y sus metabolitos, en especies filtroalimentadoras y sedimentos del valle de Mexicali y alto golfo de California", *Rep. Calif. Coop. Ocean Fish.* 20 pp.
- Gutiérrez-Galindo, E.A. 1982. Comentario sobre el metabolismo de metales pesados en organismos marinos. *Ciencias Marinas*, 8(1):134-138.
- Gutiérrez-Galindo, E., G. Flores y A. Aguilar. 1988. "Mercury in freshwater fish and clam from the Cerro Prieto Geothermal Field of Baja California, México" . *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 41:201-207
- Hernández-Ayón J. M. 1990. " Distribución espacial y ciclos cicardianos de NO₃, NO₂, PO₄ y SiO₂ en el delta del río Colorado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. 83 pp.
- Katalin, Balogh V. 1988. " Comparision of mussels and crustacean plankton to monitor heavy metal pollution." *Water, air, and soil pollution*. 37:281-292.

- Knauss Kevin y Ku Teh-Loung. 1983. "The elemental composition and decay-series radio-nuclide content of plankton from the east pacific". Chemical Geology. Elsevier Scientific Publishing Co., 39:125-45.
- Lavaniegos-Espejo B. 1987. "Efectos del evento "El Niño" 1982-1983 sobre las poblaciones de eufásidos del Golfo de California". Tesis de Maestria. CICESE. 112 pp.
- Lehninger, A. L. 1975. Bioquímica. (2a. ed.) Ed. Omega, Barcelona. 1117 pp.
- Lepley, L.K., S.P. Vonder Haar, J.R. Hendrickson y R.G. Calderon. 1975. "Circulation in the Northern Gulf of California from orbital photographs and ship investigation". Ciencias Marinas, 2(2):86-93
- Manrique, F.A. 1987. "Plancton del Golfo de California". Contribuciones en Hidrobiología. Memoria de la Reunión "Alejandro Villalobos". U.N.A.M., México. p:235-258.
- Margalef, R. 1980. Ecológia. Ed. Omega, Barcelona. 951 pp.
- Mak P. 1972. "Heavy metal uptake by marine organisms". Tesis de Maestria. Colegio del Estado de San Diego. pp 78.

- Martin J.H. and G.A. Knauer. 1973. " The elemental composition of plankton". *Geochimic et Cosmochimica Acta*, 37:1639-1653.
- Martínez-Rojas R, M.K. 1990. Distribución espacial y registros circadianos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el delta del río Colorado. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias Marinas. UABC, pp 69.
- Mekel, L.D. 1975." Holocenesand bodiesin the Colorado Delta area, northern Gulf of California". In:Broussard,M.L. *Deltas: Models Exploration*. Houston Geol. Soc. pp 555.
- Morel, F.M.M. y N.M.L. Moren-Laurens. 1983. "Trace Metals and plankton in the oceans: facts and speculations". *Trace Metals in sea water*. Plenum Press, N.Y. p 841-869.
- Nishikawa, K.A. y R.E. Holton. 1982. "EL guano, un nuevo medio para detectar y evaluar contaminantes en el mar". *Ciencias Marinas*, 8(1):118-121
- Odum, E.P. 1978. *Ecología; el vínculo entre las ciencias naturales y las sociales*. Ed. CECSA, México. 295 pp.

- Olguín, G. 1989. Metales traza en moluscos del valle de Mexicali y alto golfo de California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. 61 pp.
- Ortega-Lara, V. 1991. Metales traza en sedimentos superficiales marinos de la región noroccidental fronteriza México-E.U.A. Tesis de la Facultad de Ciencias Marinas, B.C. 75 pp.
- Palacios-Fest, M., C.S. Andrews, y O.K. Davis. 1988. "El impacto de los embalses en los canales de distributarios del Delta del Río Colorado". Department of Geosciences. University of Arizona, Tucson. E.U.A.
- Parsons, T.R. y Takahashi, M. 1977. Biological Oceanographic Processes. Pergamon Press, Int. Ltd. pp 332.
- Parsons, T.R., Thompson, P., Yong W., Lalli, C.M., Shumin, H. and Huaishu, X. 1986. "The effect of mine tailings on the production of plankton". Acta Oceanológica Sinica. 5(3):417-427 .

- Rainbow, P.S. y White, S.L. 1990. "Comparative accumulation of cobalt by three crustaceans: a decapod, an amphipod and a barnacle". *Aquatic Toxicology*. 16:113-126.
- Roden, G.I. 1964. "Oceanographic aspects of the Gulf of California". Tij. H. Van Andel and G.G. Shor J.(edit). *Marine Geology of the Gulf of California: Symposium, Am. Assos. Pet. Geol. Mem.* 3:30-58
- Rojas-Reynosa, V. M. 1987. Metales traza en de peces Tilapia mossambica (mojarra) y Cyprinus carpio (carpa), del Valle de Mexicali, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. 42 pp.
- Sinclair, M. 1988. Marine populations an enssay on population regulation and speciation. Books in reclutament fishery oceanography. Washington SeaGrant Program, University of Washinton Press. pp 252.
- SRH-UABC. 1973. Estudio químico sobre la contaminación por insecticidas en la desembocadura del Río Colorado. Reporte final a la Dirección de Acuacultura de la SRH. (Generalidades, contaminación por pesticidas organoclorados). 394 pp.

- Stephenson, D.M., M. Martin, S.E. Lange, A.R. Flegal y H.J. Martin. 1979. "Trace Metal concentrations in the California Mussel Mytilus californianus". Water Quality monitoring Report. Vol. II, No. 70-22. 102 pp.
- Thompson, R.W. 1968. "Tidal Flat sedimentation of the Colorado River Delta, Northwestern Gulf of California". The Geological Society of America. Memoir 107. 129 pp.
- Villa-Andrade, M.F. 1988, Insecticidas Organoclorados en Peces Tilapia sp y ciprinus carpio, del Valle de Mexicali B.C. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. 47 pp.
- Villaescusa-Celaya, J. 1987. Hidrocarburos clorados en molluscos del Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. pp 75.
- Warren, L. J. 1981. " Contamination of sediments by Lead, Zinc and Cadmiun: A Review". Envirom pollution, (series B). 2:401-436.
- Winer, B.J. 1971. Statistical Principles in Experimental Desing. 2nd Ed. Mc. Graw-Hill. 907 pp.

- Zafiropoulus, D y A. P. Grimanis. 1979. "Trace Elements in Acartia clausi from Elefsis Bay of the upper Saronikos Gulf, Greece". Reports. Vol. 6, Abril.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical Analysis. 2nd. Ed. Prentice-Hall Int. London. 718 pp.

Anexo I. Valores de estadística descriptiva ($\alpha = 0.05$) para el grupo de datos del zooplancton.

METAL	K - S	\bar{X}	DS	CV(%)	n
Mn	0.80	100.40	60.70	60.45	33
Cu	0.50	84.83	64.90	76.69	33
Zn	0.17	318.88	172.90	54.22	33
Al	0.14	5602.40	5292.68	94.47	33
Fe *	0.96	3369.52	4050.39	120.20	33
Hg #	0.83	0.47	0.14	29.78	9

NOTAS:

K-S , nivel de significancia de la prueba de Kolmogorov-Smirnov; \bar{X} , media ($\mu\text{g/g}$ peso seco); DS , desviación estandar ($\mu\text{g/g}$ peso seco); CV (%), coeficiente de variación; n , número de datos; * , datos transformados por log en base 10; # , unidades ($\mu\text{g/g}$ peso húmedo).

Anexo II. Análisis de Varianza, de 1 vía, para la concentración promedio de los metales traza y pesados analizados en el zooplancton por estaciones.

METAL	FUENTE DE VARIACION		SC	GL	CM	F	NIVEL DE SIGNIF.
Mn	Entre	Est.	37297.44	7	5328.21	1.65	0.17
	Dentro	Est.	80598.30	25	3223.93		
	Total		117895.74	32			
Cu	Entre	Est.	29010.92	7	4144.42	0.98	0.47
	Dentro	Est.	105775.80	25	4231.03		
	Total		134786.71	32			
Zn	Entre	Est.	221326.05	7	31618.01	1.075	0.40
	Dentro	Est.	735293.68	25	29411.75		
	Total		953319.73	32			
Al	Entre	Est.	2.5216E08	7	0.12	0.63	0.74
	Dentro	Est.	4.93	26	0.19		
	Total		5.74	33			
Fe*	Entre	Est.	1.92	7	0.28	2.05	0.09
	Dentro	Est.	3.36	25	0.14		
	Total		5.29	32			
Hg	Entre	Est.	35588.54	5	7117.71	0.15	0.97
	Dentro	Est.	140835.21	3	46945.07		
	Total		176423.75	8			

NOTAS:

SC , suma de cuadrados; GL , grados de libertad;
 CM , cuadrados medios; F , razón de varianzas;
 * , Datos transformados por logaritmo en base 10;
 $\alpha = 0.05$.

Anexo III. Análisis de Varianza, de 1 vía, para la concentración promedio de los metales traza y pesados analizados en el zooplancton por meses.

METAL	FUENTE DE VARIACION	SC	GL	CM	F	NIVEL DE SIGNIF.
Mn	Entre Mes	16423.49	5	3284.70	0.87	0.51
	Dentro Mes	101472.24	27	3758.23		
	Total	117895.74	32			
Cu	Entre Mes	42703.50	5	8540.70	2.50	.0549
	Dentro Mes	92083.21	27	3410.48		
	Total	134786.71	32			
Zn	Entre Mes	556634.29	5	111326.86	7.52	.0002
	Dentro Mes	399985.44	27	14814.28		
	Total	956619.73	32			
Al	Entre Mes	1.1333E8	5	22666582	.782	0.57
	Dentro Mes	7.8307E8	27	229002436		
	Total	8.9640E8	32			
Fe*	Entre Mes	0.9247	5	0.1849	1.14	0.36
	Dentro Mes	4.3665	27	0.1617		
	Total	5.2913	32			
Hg	Entre Mes	25290.27	3	8430.09	0.28	0.84
	Dentro Mes	151133.49	28	30226.70		
	Total	176423.75	33			

NOTAS:

SC , suma de cuadrados; GL , grados de libertad;
 CM , cuadrado medio; F , razón de varianzas;
 * , Datos transformados por logaritmo en base 10;
 $\alpha = 0.05$.

Anexo IV. Análisis de Varianza, de 2 vías, para la concentración promedio de los metales traza y pesados analizados en el zooplancton por estaciones y por meses.

METAL	FUENTE DE VARIACION	SC	GL	CM	F	NIVEL DE SIGNIF.
Mn	Efecto princ.	45302.03	7	6471.72	1.74	0.21
	Estaciones	21726.84	2	10863.42	2.92	0.10
	Meses	23575.19	5	4715.04	1.26	0.35
	Residuo	37170.34	10	3717.03		
Total		82472.37	17			
Cu	Efecto princ.	35584.49	7	5083.49	1.39	0.31
	Estaciones	849.09	2	424.54	.117	0.89
	Meses	34735.39	5	6947.08	1.90	0.18
	Residuo	36384.25	10	3638.42		
Total		71968.74	17			
Zn	Efecto princ.	487348.4	7	69621.2	3.46	0.037
	Estaciones	103475.7	2	51737.8	2.57	0.125
	Meses	383872.8	5	76774.5	3.81	0.034
	Residuo	201088.8	10	20108.8		
Total		688437.2	17			
Al	Efecto princ.	4.551E8	7	6.502E7	2.25	0.118
	Estaciones	2.521E8	2	1.260E8	4.36	0.043
	Meses	2.030E8	5	4.060E7	1.40	0.301
	Residuo	2.886E8	10	28869085		
Total		7.438E8	17			
Fe*	Efecto princ.	0.9343	7	0.1334	1.26	0.354
	Estaciones	0.1346	2	0.0673	0.64	0.547
	Meses	0.7996	5	0.1599	1.51	0.267
	Residuo	1.0527	10	0.1052		
Total		1.9870	17			

NOTAS:

SC , suma de cuadrados; GL , grados de libertad;
 CM , cuadrado medio; F , razón de varianzas;
 * , Datos transformados por logaritmo en base 10;
 $\alpha = 0.05$.