

**BIODISPONIBILIDAD DE METALES TRAZA EN ALMEJAS Y
MEJILLON DEL VALLE AGRICOLA DE MEXICALI Y
ALTO GOLFO DE CALIFORNIA**

**BIOAVAILABILITY OF TRACE METALS IN CLAMS AND MUSSELS
OF THE AGRICULTURAL VALLEY OF MEXICALI AND
UPPER GULF OF CALIFORNIA**

Efraín A. Gutiérrez-Galindo
Gilberto Flores Muñoz
Guillermo Olguín Espinoza
Julio A. Villaescusa Celaya

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California, México

Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores Muñoz, G., Olguín Espinoza, G. y Villaescusa Celaya, J.A. (1990). Biodisponibilidad de metales traza en almejas y mejillón del valle agrícola de Mexicali y alto golfo de California. Bioavailability of trace metals in clams and mussels of the agricultural valley of Mexicali and upper Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 16(4): 1-28.

RESUMEN

Se investigó la biodisponibilidad de los metales zinc, cobre, manganeso, plata, aluminio, cadmio y cromo en el valle agrícola de Mexicali, Baja California, y en el alto golfo de California con la finalidad de diagnosticar la contaminación por estos elementos en las aguas de las zonas examinadas. Para este propósito se colectó durante agosto de 1985 y febrero de 1986 la almeja *Corbicula fluminea* del valle agrícola y la almeja *Chione californiensis* y el mejillón *Modiolus capax* residentes en el alto golfo de California. Los resultados muestran una secuencia de concentraciones en *C. fluminea* de Zn > Mn > Cu durante agosto y de Al > Zn > Mn > Cu > Cr > Ag durante febrero. Se observaron diferencias geográficas significativas de los elementos examinados en el valle de Mexicali. El cobre, zinc y manganeso presentaron concentraciones (peso seco) relativamente altos (51.49, 162.81 y 170.87 µg/g) en las localidades de la parte norte del valle. La almeja presentó valores de aluminio (2190.66 µg/g) cinco veces superiores a los señalados por otros autores en el valle de San Joaquín, en California, EUA. La almeja *C. californiensis* del alto golfo presentó una secuencia de concentración de Al > Zn > Cu > Mn > Cd > Cr > Ag similar a la observada en *C. fluminea* del valle de Mexicali. Los niveles de zinc, cobre, manganeso y aluminio medidos en *M. capax* presentan un gradiente de concentración marcado de norte a sur. Esta distribución geográfica se explica en base a un posible aporte significativo de material conteniendo metales traza el cual es transportado por el río Colorado y depositado en la parte alta del golfo de California. No se detectaron concentraciones de cadmio en *C. fluminea* del valle de Mexicali. Sin embargo, en las localidades de Punta Estrella, Bahía San Luis Gonzaga y Bahía de los Angeles del golfo de California, se midieron concentraciones de cadmio en *M. capax* hasta 3.48 veces superiores a la concentración establecida por las autoridades sanitarias en moluscos bivalvos destinados para el consumo humano.

ABSTRACT

The bioavailability of zinc, copper, manganese, silver, aluminium, cadmium and chromium in the agricultural valley of Mexicali, Baja California, and upper Gulf of California was studied in order to diagnose the contamination by these metals in the waters of these areas. In August 1985 and February 1986, the clam *Corbicula fluminea* was collected from the agricultural valley and the clam *Chione californiensis* and the mussel *Modiolus capax* from the upper Gulf of California. The results show a concentration sequence for *C. fluminea* of Zn > Mn > Cu in August and of Al > Zn > Mn > Cu > Cr > Ag in February. Significant geographical differences of the elements examined in Mexicali Valley were observed. Copper, zinc and manganese presented relatively high concentrations (51.49, 162.81 and 170.87 µg/g dry weight) at the sites in the northern part of the valley. The clam had values of aluminium (2190.66 µg/g) five times higher than those indicated by other authors for the San Joaquin Valley in California, USA. The clam *C. californiensis* from the upper Gulf presented a concentration sequence of Al > Zn > Cu > Mn > Cd > Cr > Ag similar to that observed in *C. fluminea* from Mexicali Valley. The levels of zinc, copper, manganese and aluminium measured in *M. capax* present a marked concentration gradient from north to south. This geographical distribution can be due to a possible significant contribution of material containing trace metals which is transported by the Colorado River and deposited in the upper part of the Gulf of California. Concentrations of cadmium in *C. fluminea* from Mexicali Valley were not detected. However, at Punta Estrella, Bahía San Luis Gonzaga and Bahía de los Angeles in the Gulf of California, the concentrations of cadmium measured in *M. capax* were 3.48 times higher than the concentration established by health authorities in bivalve molluscs destined for human consumption.

INTRODUCCION

Los metales traza, desde el punto de vista de su función biológica, se pueden clasificar en esenciales y no esenciales. Los esenciales (zinc, cobre, magnesio, manganeso y hierro), aunque benéficos, pueden ser tóxicos para el hombre y la biota en general cuando el nivel de concentración requerido para una respuesta nutricional correcta es excedido. Los no esenciales (mercurio, cadmio, plata, cromo y aluminio) son aún más tóxicos a concentraciones menores que los esenciales (Forstner y Prosi, 1978; Forstner y Wittmann, 1979). Estos elementos esenciales y no esenciales se encuentran distribuidos en la atmósfera, agua y corteza terrestre y son movilizados tanto por mecanismos naturales (erosión, vulcanismo) como por mecanismos antropogénicos (desechos industriales, domésticos, así como por la utilización de combustibles fósiles) (Lantzy y Mackenzie, 1979).

El interés de investigar los niveles de concentración de metales traza en el medio ambiente adquiere una importancia a partir del conocimiento de sus efectos en la salud humana. En el ser humano han sido señalados efectos neurotóxicos (Hg y Pb), osteomalacia (Cd), osteodistrofia (Al), renales (Cd), can-

INTRODUCTION

Trace metals, from the point of view of their biological function, can be classified as essential and nonessential. The essentials (zinc, copper, magnesium, manganese and iron) although beneficial, can be toxic to man and the biota in general when the level of concentration exceeds that required for a correct nutritional response. The nonessentials (mercury, cadmium, silver, chromium and aluminium) are even more toxic at lower concentrations than the essentials (Forstner and Prosi, 1978; Forstner and Whitman, 1979). These essential and nonessential elements are distributed in the atmosphere, water and the earth's crust and are mobilized by natural mechanisms (erosion, volcanism) as well as by anthropogenic mechanisms (industrial and domestic wastes, and fossil-fuel burning) (Lantzy and Mackenzie, 1979).

The study of levels of trace metal concentration in the environment acquired importance when their effects on human health became known. In man, osteomalacia (Cd), osteodystrophy (Al), neurotoxic (Hg and Pb), renal, cancerigenic (Ni, Cr and Cd), immunological (Hg, Ni and Cr) effects as well as hepatolenticular degeneration (Cu) have been observed (OMS, 1976, 1987).

cerígenos (Ni, Cr y Cd), inmunológicos (Hg, Ni y Cr), así como de degeneración hepatolenticular (Cu) (OMS, 1976, 1987).

En cuanto a antecedentes de utilización de los metales, numerosas industrias los usan en la elaboración de sus productos, entre las que podemos destacar: la industria eléctrica y la electrónica (Cu, Pb, Hg y Se); la farmacéutica (Co, Zn y Fe); la de pinturas (Cd, Cr, As, Hg, Se y Pb); la de colorantes (Cu y Zn); la de fotografía (Ag); la metalúrgica (Cu, Pb y Ag) y en la formulación de fungicidas (As, Mn, Cu, Zn, Pb y Ag) (Forstner y Prosi, 1978).

En este trabajo se investigó la biodisponibilidad de metales traza (Zn, Cu, Mn, Cd, Al, Ag y Cr) en la almeja *Corbicula fluminea*, que habita en el sistema de riego del valle agrícola de Mexicali, Baja California. También se analizó la almeja *Chione californiensis* y el mejillón *Modiolus capax*, ambos organismos residentes en el golfo de California. Se pretende con este estudio conocer la calidad química de las aguas en las dos áreas examinadas.

En el valle de Mexicali el agua que se destina a la agricultura proviene principalmente del río Colorado. Esta agua se distribuye a través de un sistema de riego y posteriormente es captada por un sistema de canales de drenaje. Una parte de estas aguas es descargada al río Hardy y transportada posteriormente al alto golfo de California. Otra parte, es descargada en el río Nuevo, el cual las conduce al mar de Salton en EUA. Warren (1981) señala que los ríos transportan grandes cantidades de metales en solución y en el material particulado (producto del intemperismo, de erosión de rocas, suelo, de detritus orgánico y de las cantidades antropogénicas). Este señalamiento podría indicar que el río Colorado y las aguas de drenaje constituyen una fuente potencial de metales traza al valle de Mexicali y a la parte alta del golfo de California.

La investigación que a continuación se presenta es la quinta y última etapa (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1988a, 1988b, 1988c, 1989) de un primer diagnóstico de la contaminación por metales traza e hidrocarburos clorados en las aguas de los canales de riego y

Numerous industries use metals in the elaboration of their products. The following industries are particularly noteworthy: electrical and electronic (Cu, Pb, Hg and Se), pharmaceutical (Co, Zn and Fe), paint (Cd, Cr, As, Hg, Se and Pb), dyes (Cu and Zn), photographic (Ag), metallurgical (Cu, Pb and Ag) and formulation of fungicides (As, Mn, Cu, Zn, Pb and Ag) (Forstner and Prosi, 1978).

In this study, the bioavailability of trace metals (Zn, Cu, Mn, Cd, Al, Ag and Cr) in the clam *Corbicula fluminea*, found in the irrigation system of the agricultural valley of Mexicali, Baja California, was studied. The clam *Chione californiensis* and the mussel *Modiolus capax*, both found in the Gulf of California, were also analysed. The objective of this work is to study the chemical quality of the waters in the two areas.

The water destined to agriculture in Mexicali Valley mainly comes from the Colorado River. This water is distributed by means of an irrigation system and trapped by a system of channels and drains. These waters flow either into the Hardy River and are transported to the upper Gulf of California or into the Nuevo River which leads to the Salton Sea in the USA. Warren (1981) indicates that rivers transport large quantities of metals in solution and in the particulate matter (as a result of weathering, rock and soil erosion, organic detritus and anthropogenic quantities). This could indicate that the Colorado River and drainage waters constitute a potential source of trace metals to the Mexicali Valley and upper Gulf of California.

This study is the fifth and last stage (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1988a, 1988b, 1988c, 1989) of a first diagnosis of the contamination by trace metals and chlorinated hydrocarbons in the waters of the drainage and irrigation channels of the Mexicali Valley and upper Gulf of California. This first systematic diagnosis has provided knowledge on behaviour patterns of these toxicants at the different sites investigated. There were several reasons which led to the study of Mexicali Valley: its local fisheries are sold for human consumption; the presence of the Cerro Prieto geothermic plant and its impor-

drenaje del valle de Mexicali y del alto golfo de California. Este primer diagnóstico sistemático proporcionó conocimientos de patrones de comportamiento de estos tóxicos en las diversas localidades examinadas. El valle de Mexicali, representó un interés para su estudio debido al consumo de sus pesquerías locales y a la presencia de la planta geotérmica Cerro Prieto y su importancia como una fuente primaria de contaminación ambiental, así como por la cercanía de este valle con el vecino valle agrícola de Imperial, EUA, lo cual permitió realizar comparaciones de contaminación ambiental en ambos valles. Estas comparaciones ambientales representan un cierto interés desde el punto de vista binacional. Finalmente, por representar este valle una posible fuente aportadora de insecticidas y metales traza al golfo de California (área actualmente considerada de importancia para el desarrollo de la acuicultura).

Descripción del área de estudio

En el extremo NE de la península de Baja California, entre los paralelos 31° 45' y 32° 45' N y los meridianos 114° 45' y 115° 30' W, se encuentra localizado el valle de Mexicali, Baja California (Fig. 1). Presenta una forma irregular, con límites: al norte con la frontera de los Estados Unidos de Norteamérica, al sur con el golfo de California, al este con el desierto de Sonora y al oeste con la Laguna Salada. Este valle está considerado como una de las zonas agrícolas más importantes del país y cuenta con un área total de 328,000 hectáreas, de las cuales 186,000 hectáreas son de riego. Cuenta además con 2,522 km de canales y 1,492 km de drenes (SARH, 1981). El alto golfo de California (Fig. 2) se localiza en la costa este del estado de Baja California, entre los paralelos 31° 47' y 28° 55' N y los meridianos 113° 28' y 114° 42' W (SRH, 1971).

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron dos muestreos durante agosto de 1985 y febrero de 1986, colectándose en el sistema de riego del valle de Mexicali la almeja *C. fluminea* en 15 estaciones distribuidas y escogidas por su accesibilidad (Tabla I, Fig. 1), mientras que para el alto golfo de California se colectó el mejillón *M. capax* en tres estaciones de la costa oeste

tance as a primary source of environmental pollution; its proximity to Imperial Valley, USA, allowing comparisons of environmental contamination to be made which could be of binational interest and the fact that this valley is a possible contributing source of insecticides and trace metals to the Gulf of California (area considered at present to be of importance for aquacultural development).

Description of the study area

Mexicali Valley (Fig. 1) is located in the extreme NE of the peninsula of Baja California, between parallels 31° 45' and 32° 45' N and meridians 114° 45' and 115° 30' W. It has an irregular shape and is bordered on the north by the United States of America, on the south by the Gulf of California, on the east by the Sonora desert and on the west by Laguna Salada. This valley is considered one of the most important agricultural zones in Mexico. It has a total area of 328,000 hectares, of which 186,000 hectares are under irrigation. It also has 2,522 km of channels and 1,492 km of drains (SARH, 1981). The upper Gulf of California (Fig. 2) is located on the east coast of Baja California, between parallels 31° 47' and 28° 55' N and meridians 113° 28' and 114° 42' W (SRH, 1971).

MATERIALS AND METHODS

Two samplings were carried out in August 1985 and February 1986. The clam *C. fluminea* was collected at 15 stations distributed throughout the irrigation system of the Mexicali Valley and chosen for their accessibility (Table I, Fig. 1). In the upper Gulf of California, the mussel *M. capax* was collected at three stations on the east coast of the Gulf and the clam *C. californiensis* at one station located in the Gulf of Santa Clara in Sonora (Table I, Fig. 2).

The samples were collected manually at each station. The shells were cleaned of any incrustations, sand or mud. They were placed in polyethylene bags and labelled with the date, station number, collection site and species. They were then stored in plastic iceboxes with dry ice (-20°C) and transported to the laboratory for the respective biometric and chemical analyses.

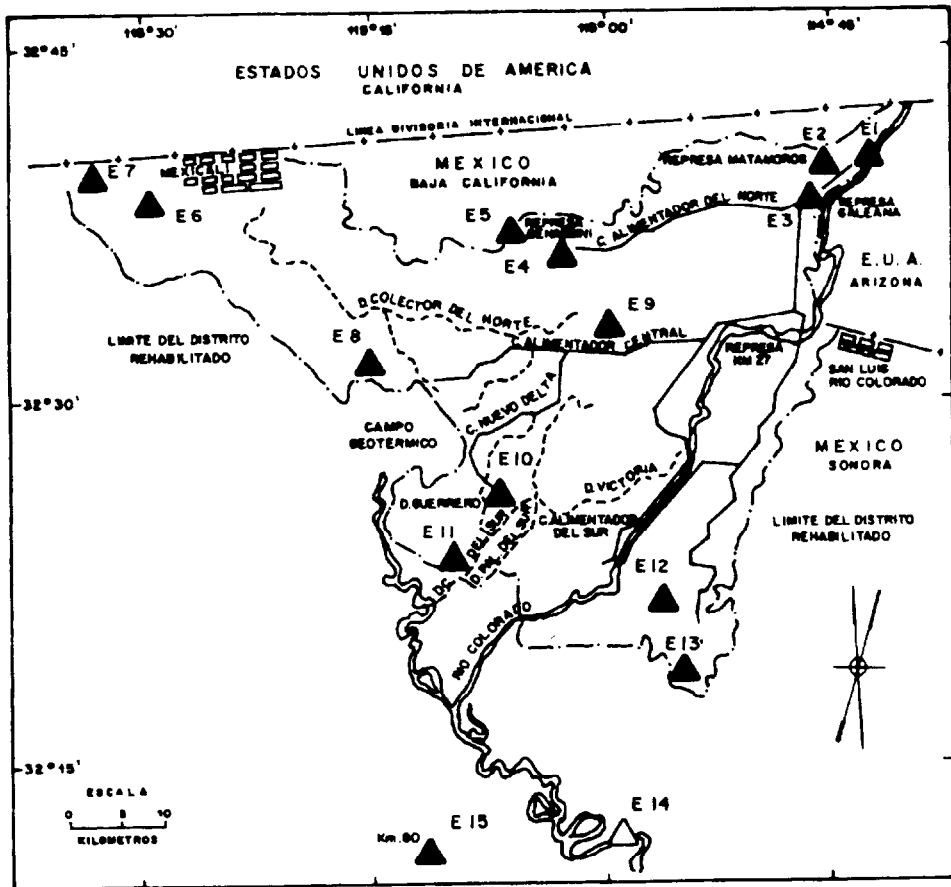


Figura 1. Estaciones de colecta de *C. fluminea* en el valle de Mexicali, Baja California.
Figure 1. Collecting stations of *C. fluminea* in Mexicali Valley, Baja California.

del golfo, y la almeja *C. californiensis* en una estación localizada en el golfo de Santa Clara, en el estado de Sonora (Tabla I, Fig. 2).

Las muestras en cada estación fueron colectadas manualmente. Se limpiaron las conchas de cualquier crecimiento incrustante, arena o lodo, y se colocaron en bolsas de polietileno con cierre de seguridad. Se etiquetaron con fecha, número de estación, lugar de colecta y especie. Posteriormente, se almacenaron en hieleras de plástico con hielo seco (-20°C) y se transportaron al laboratorio para los análisis biométricos y químicos respectivos.

For the chemical analysis, three replicates of 15 organisms of homogeneous size from each site were used. The sample was homogenized in a Virtis (model 45) homogenizer equipped with titanium blades. Approximately 5 g of each replicate was taken and dried in an oven at 70°C for 72 hours to obtain the dry weight. Digestion of the samples was done following the technique described by Stephenson *et al.* (1979).

The quantification of zinc, copper, manganese and cadmium was carried out with an IL 251 atomic absorption spectrophotometer.

Tabla I. Localidades de muestreo y especies colectadas durante agosto de 1985 y febrero de 1986 en el valle de Mexicali y alto golfo de California.

Table I. Sampling sites and species collected in August 1985 and February 1986 in Mexicali Valley and upper Gulf of California.

Estación	Lugar de colecta	Organismo
1	Represa El Campillo (*)	<i>Corbicula fluminea</i>
2	Canal El Alamo, Col. Cuervitos	<i>Corbicula fluminea</i>
3	Canal Reforma, Represa Galeana	<i>Corbicula fluminea</i>
4	Canal Alimentador Norte, Represa Benassini	<i>Corbicula fluminea</i>
5	Dren La Mesa, Ej. Irapuato	<i>Corbicula fluminea</i>
6	Canal Reforma, Ej. Zaragoza (*)	<i>Corbicula fluminea</i>
7	Canal Reforma, Ej. Santa Isabel	<i>Corbicula fluminea</i>
8	Canal Reforma, Col. Cerro Prieto	<i>Corbicula fluminea</i>
9	Canal Reforma, Ej. Quintana Roo	<i>Corbicula fluminea</i>
10	Canal Nuevo Delta, Ej. Sonora	<i>Corbicula fluminea</i>
11	Canal Independencia, Col. Carranza	<i>Corbicula fluminea</i>
12	Canal de riego Est. Coahuila	<i>Corbicula fluminea</i>
13	Canal Revolución, Col. Zacatecas (*)	<i>Corbicula fluminea</i>
14	Río Colorado, Ej. Oviedo Mota	<i>Corbicula fluminea</i>
15	Río Colorado Km 80	<i>Corbicula fluminea</i>
16	Golfo de Santa Clara, Sonora	<i>Chione californiensis</i>
17	Punta Estrella	<i>Modiolus capax</i>
18	Bahía San Luis Gonzaga	<i>Modiolus capax</i>
19	Bahía de los Angeles	<i>Modiolus capax</i>

(*) Estas localidades no cuentan con revestimiento de cemento en el fondo.

Tabla II. Concentraciones de metales traza ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en estándares analizados por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) para este estudio y comparados con los del National Bureau of Standards (NBS-USA).

Table II. Concentrations of trace metals ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in standards analysed by the Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) for this study and compared with those of the National Bureau of Standards (NBS-USA).

Estándar		Zn	Cu	Mn	Cd	Ag	Cr	Al
Hojas de hortalizas (#1571)	IIO	25.03	11.71	76.9	na	0.01	1.62	129.7
	NBS	25.00	12.00	91.0	0.11	nc	2.60	nc
Hígado de bovino (#1577)	IIO	131.2	178.2	10.0	0.50	na	na	na
	NBS	130.0	193.0	10.3	0.44	0.06	na	na

nc = no certificado.

na = no analizado.

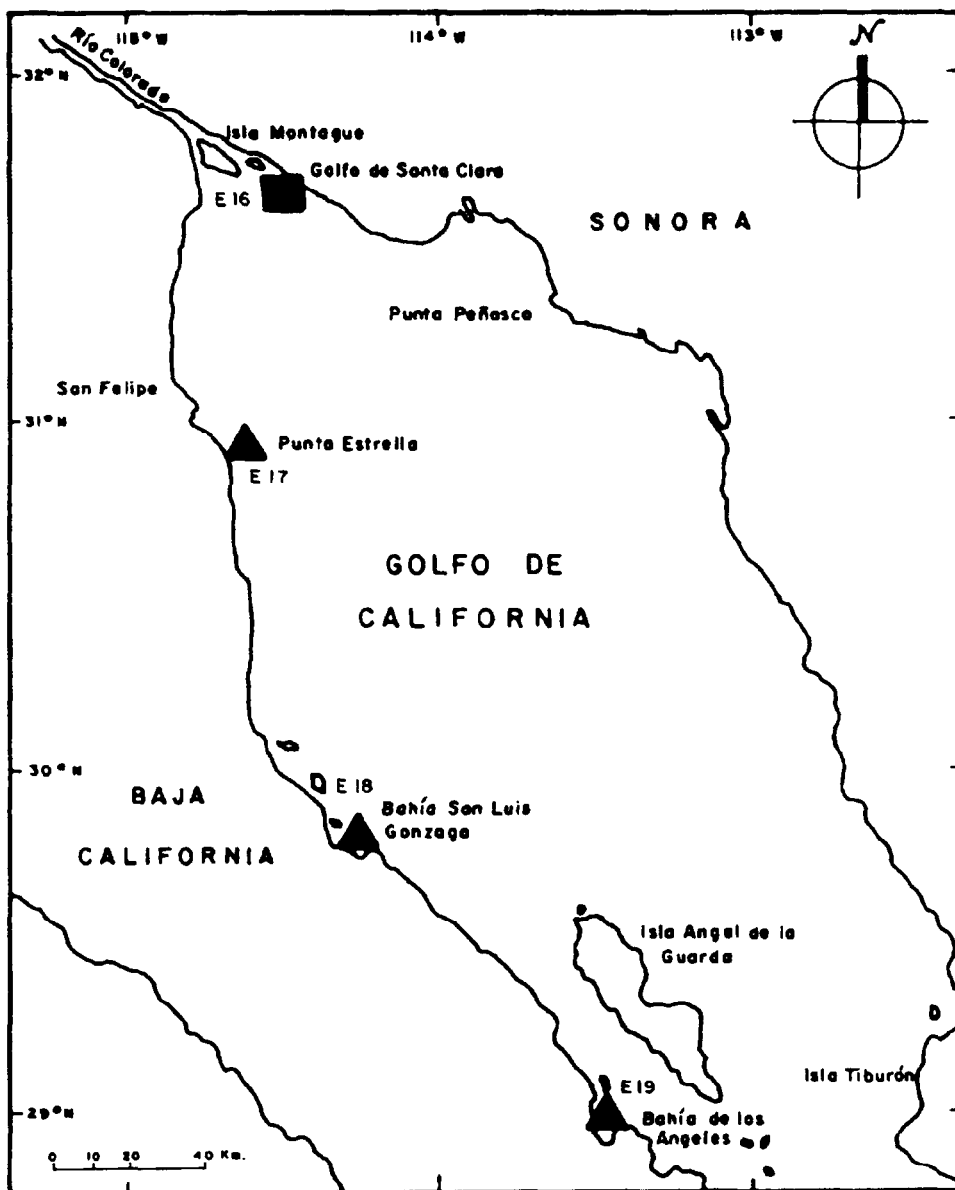


Figura 2. Estaciones de colecta de *C. californiensis* (■) y *M. capax* en el alto golfo de California (▲).

Figure 2. Collecting stations of *C. californiensis* (■) and *M. capax* in the upper Gulf of California (▲).

Para el análisis químico, se utilizaron tres réplicas de 15 organismos de talla homogénea por cada localidad. Se homogenizó la muestra en un virtis modelo 45 equipado con navajas de titanio. De cada réplica se tomaron aproximadamente 5 g y se secaron en un horno a 70°C durante 72 horas, para obtener el peso seco. La digestión de las muestras se hizo de acuerdo a la técnica descrita por Stephenson *et al.* (1979).

La cuantificación del zinc, cobre, manganeso y cadmio se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica IL 251. La plata y cromo se analizaron en un Perkin Elmer 603 equipado con un horno de grafito HGA 500. Para el aluminio se utilizó una llama acetileno/óxido nítrico. La metodología analítica fue evaluada mediante la utilización de estándares de hígado de bovino (1577) y hojas de huerto (1571) como material de referencia. Estos estándares fueron proporcionados por la US National Bureau of Standards (NBS-USA, 1976). En la Tabla II se presentan de manera comparativa los valores obtenidos en los estándares analizados.

RESULTADOS

(a) Valle de Mexicali, Baja California

Las concentraciones de los metales traza ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) detectados en *C. fluminea* del valle de Mexicali durante agosto de 1985 y febrero de 1986 se muestran en las Tablas III y IV. El análisis o la estimación de la variación geográfica se realizó uniendo los dos muestreos como una serie de datos, utilizándose sólo valores de Zn, Cu y Mn. Esta clasificación se presenta en la Tabla V. Los intervalos de concentraciones de los metales señalados en las Figuras 3 a 8 se obtuvieron mediante un análisis de una vía no paramétrico con la finalidad de hacer una clasificación *a posteriori*.

Zinc

De acuerdo al análisis de varianza, las concentraciones de zinc en *C. fluminea* presentaron diferencias temporales y geográficas en concentración ($p < 0.01$). El término interactivo no fue significativo lo cual indica que el patrón de distribución geográfico no varió con

Silver and chromium were analysed with a Perkin Elmer 603 equipped with an HGA 500 graphite furnace. For aluminium, a nitrous acetylene-oxide flame was used. The analytical procedures were evaluated using standards of bovine liver (1577) and orchard leaves (1571) as reference material. These standards were provided by the US National Bureau of Standards (NBS-USA, 1976). The values of the analysed standards are shown in Table II.

RESULTS

(a) Mexicali Valley, Baja California

The concentrations of trace metals ($\mu\text{g/g}$ dry weight) detected in *C. fluminea* from Mexicali Valley in August 1985 and February 1986, are shown in Tables III and IV. The analysis or estimation of the geographical variation was made by combining the two samples as one series of data, using only Zn, Cu and Mn values. This classification is shown in Table V. The ranges of concentrations of the metals are shown in Figures 3 to 8. These were obtained by means of a one-way non-parametric analysis in order to make an *a posteriori* classification.

Zinc

According to the variance analysis, the concentrations of zinc in *C. fluminea* presented temporal and geographical differences in concentration ($p < 0.01$). The interactive term was not significant, indicating that the geographical distribution pattern did not vary in time during the two sampling periods. Schematically, a general north to south pattern of concentration is shown in Figure 3. The lowest concentrations were found in the northern region (109.91-138.31 $\mu\text{g/g}$), except at Represa El Campillo (station 1) and Ejido Zaragoza (station 6) which had higher concentrations (152.25-181.57 $\mu\text{g/g}$). Median concentration values (141.31-145.21 $\mu\text{g/g}$) were found in the central area (stations 10 and 11) increasing to the southeast in Colonia Zacatecas (station 13).

Copper

Significant temporal differences were not detected in the concentrations of copper in *C. fluminea* during both samplings ($p >$

Tabla III. Valores promedio (n = 3) de metales traza ($\mu\text{g/g}$ peso seco) detectados durante agosto 1985 en *C. fluminea* del valle de Mexicali y en *C. californiensis* y *M. capax* del alto golfo de California.

Table III. Average values (n = 3) of trace metals ($\mu\text{g/g}$ dry weight) detected in August 1985 in *C. fluminea* from Mexicali Valley and in *C. californiensis* and *M. capax* from the upper Gulf of California.

Estación	Zn	Cu	Mn	Cd	Ag	Al	Cr
<i>Corbicula fluminea</i>							
1	162.81	34.23	75.17	nd*	na**	na	na
2	144.79	28.81	23.65	"	"	"	"
3	111.12	25.80	63.94	"	"	"	"
4	112.93	30.26	18.20	"	"	"	"
5	92.88	17.19	48.62	"	"	"	"
6	137.36	43.36	35.97	"	"	"	"
7	102.04	25.47	37.39	"	"	"	"
8	109.50	28.88	22.26	"	"	"	"
9	93.32	24.87	52.31	"	"	"	"
10	127.41	30.14	53.46	"	"	"	"
11	125.18	29.78	28.28	"	"	"	"
12	121.87	29.01	35.33	"	"	"	"
13	170.63	60.15	45.98	"	"	"	"
14	99.19	22.03	49.34	"	"	"	"
\bar{x}	120.43	30.71	42.13				
DE	23.21	10.35	16.44				
CV	19.27	33.71	39.02				
<i>Chione californiensis</i>							
16	77.45	13.71	10.50	1.59	0.04	279.56	0.32
<i>Modiolus capax</i>							
17	171.90	18.15	900.00	18.55	0.15	34.83	0.58
18	85.04	11.56	141.73	19.22	0.06	83.93	0.42
19	60.40	10.00	23.75	12.28	0.17	61.23	0.38
\bar{x}	105.78	13.23	355.23	16.68	0.13	60.00	0.46
DE	58.57	4.32	475.51	3.83	0.05	24.60	0.10
CV	55.37	32.68	133.88	22.94	44.00	41.00	22.51

* nd = no detectado.

** na = no analizado.

Tabla IV. Valores promedio (n = 3) de metales traza ($\mu\text{g/g}$ peso seco) detectados durante febrero 1986 en *C. fluminea* del valle de Mexicali y en *C. californiensis* y *M. capax* del alto golfo de California.

Table IV. Average values (n = 3) of trace metals ($\mu\text{g/g}$ dry weight) detected in February 1986 in *C. fluminea* from Mexicali Valley and in *C. californiensis* and *M. capax* from the upper Gulf of California.

Estación	Zn	Cu	Mn	Cd	Ag	Al	Cr
<i>Corbicula fluminea</i>							
1	141.68	51.49	170.87	nd*	0.56	500.60	2.27
2	161.84	39.92	89.15	"	0.07	655.92	1.13
3	127.64	30.44	75.95	"	0.02	973.16	1.98
4	122.29	28.63	38.98	"	0.06	620.68	1.22
5	161.61	28.04	92.18	"	0.08	512.31	1.59
6	225.65	51.85	70.77	"	0.27	2190.66	3.00
7	na**	na	na	na	na	na	na
8	165.63	32.66	36.63	nd	0.11	587.04	1.04
9	173.68	27.09	49.38	"	0.04	665.11	2.68
10	155.83	28.63	77.78	"	0.06	1310.77	2.22
11	198.56	35.94	71.33	"	0.11	1859.42	2.53
12	160.76	35.64	98.23	"	0.15	897.13	1.44
13	164.59	57.97	30.66	"	0.11	420.02	1.49
14	122.30	20.31	47.56	"	0.08	1081.90	1.03
15	120.72	22.87	21.25	"	0.05	521.65	0.51
\bar{x}	157.34	35.32	69.39		0.13	914.02	1.72
DE	30.04	11.76	38.09		0.14	538.14	0.73
CV	19.09	33.29	54.91		109.88	58.87	42.44
<i>Chione californiensis</i>							
16	69.32	12.60	8.46	na	0.04	149.75	0.43
<i>Modiolus capax</i>							
17	172.51	25.87	193.85	na	0.14	139.02	0.62
18	100.19	16.20	189.60	"	0.05	113.86	0.45
19	88.17	9.95	47.30	"	0.03	85.80	1.12
\bar{x}	120.29	17.34	143.58	-	0.07	112.88	0.72
DE	45.62	8.02	83.41	-	0.06	26.61	0.35
CV	37.92	46.25	58.09	-	79.90	23.57	47.88

* nd = no detectado.

** na = no analizado.

Tabla V. Variación geográfica de metales traza ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en *C. fluminea*. Las medias de las columnas verticales que presentan letras iguales no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).
Table V. Geographical variation of trace metals ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in *C. fluminea*. The means of the columns with the same letters are not significantly different ($p > 0.05$).

Estación	Zn (1) **	Cu (1) ***	Mn (1) ***	Ag (2) ***	Al (2) ***	Cr (2) **
1	152.25 cde	42.86 e	123.02 e	0.56 h	500.59 ab	2.27 efg
2	138.31 abcd	35.17 d	56.40 bcd	0.07 bc	655.92 b	1.13 abcd
3	119.38 ab	28.12 bc	69.94 cde	0.02 a	973.16 c	1.98 efg
4	117.61 ab	29.45 cd	28.59 a	0.06 bc	620.68 b	1.22 bcde
5	127.24 abc	22.62 ab	70.55 de	0.07 cd	512.31 b	1.59 def
6	181.51 e	49.10 e	53.37 bcd	0.27 gh	2190.66 e	3.00 g
7	na	na	na	na	na	na
8	137.56 abcd	30.77 cd	29.44 a	0.11 def	587.04 b	1.04 abc
9	136.00 abcd	25.98 ab	50.84 bcd	0.04 ab	665.11 b	2.68 fg
10	141.62 bcde	29.38 cd	65.62 cde	0.06 bc	1310.77 cde	2.22 fg
11	145.20 cde	32.86 d	49.80 bc	0.11 def	1859.42 de	2.53 fg
12	141.32 bcde	32.25 d	66.78 cd	0.14 fgh	897.13 c	1.44 cdef
13	167.61 de	59.05 e	38.32 ab	0.11 efg	420.02 a	1.49 cdef
14	109.91 a	21.17 a	48.45 bcd	0.08 cdè	1081.90 cd	1.03 ab
15	na	na	na	0.05 abc	521.65 b	0.51 a

na = no analizado.

** significativo $p < 0.01$.

*** significativo $p < 0.001$.

(1) ANVA 2 vías febrero y agosto ($n = 6$).

(2) ANVA 1 vía agosto ($n = 3$).

el tiempo en los dos períodos de colecta. Esquemáticamente, la Figura 3 muestra de manera general un patrón de concentración de norte a sur, siendo la región norte la de menor concentración (109.91-138.31 $\mu\text{g/g}$), a excepción de la represa El Campillo (Est. 1) y el ejido Zaragoza (Est. 6) que presentaron mayores concentraciones (152.25-181.57 $\mu\text{g/g}$). La zona central (Est. 10 y 11) presentó valores medios en la concentración (141.32-145.21 $\mu\text{g/g}$) aumentando al sureste en la colonia Zacatecas (Est. 13).

Cobre

En las concentraciones de cobre en *C. fluminea* no se detectaron diferencias temporales significativas en ambos muestreos ($p > 0.001$). Se presentaron sólo diferencias de

0.001). Significant differences in concentration only occurred at a geographical level ($p < 0.001$). The spatial classification is shown in Table V and schematically in Figure 4. A north to south pattern of concentration is observed, with lower concentrations (21.17-28.12 $\mu\text{g/g}$) in the north (except at El Campillo, station 1, and Ejido Zaragoza, station 6). Median values (29.38-35.17 $\mu\text{g/g}$) were found at the stations in the central part of the valley. The highest concentration (60.15 $\mu\text{g/g}$) was detected to the south, in Colonia Zacatecas (station 13).

Manganese

Manganese in *C. fluminea* showed significant temporal and geographical differences ($p < 0.01$). The interactive term indicates that

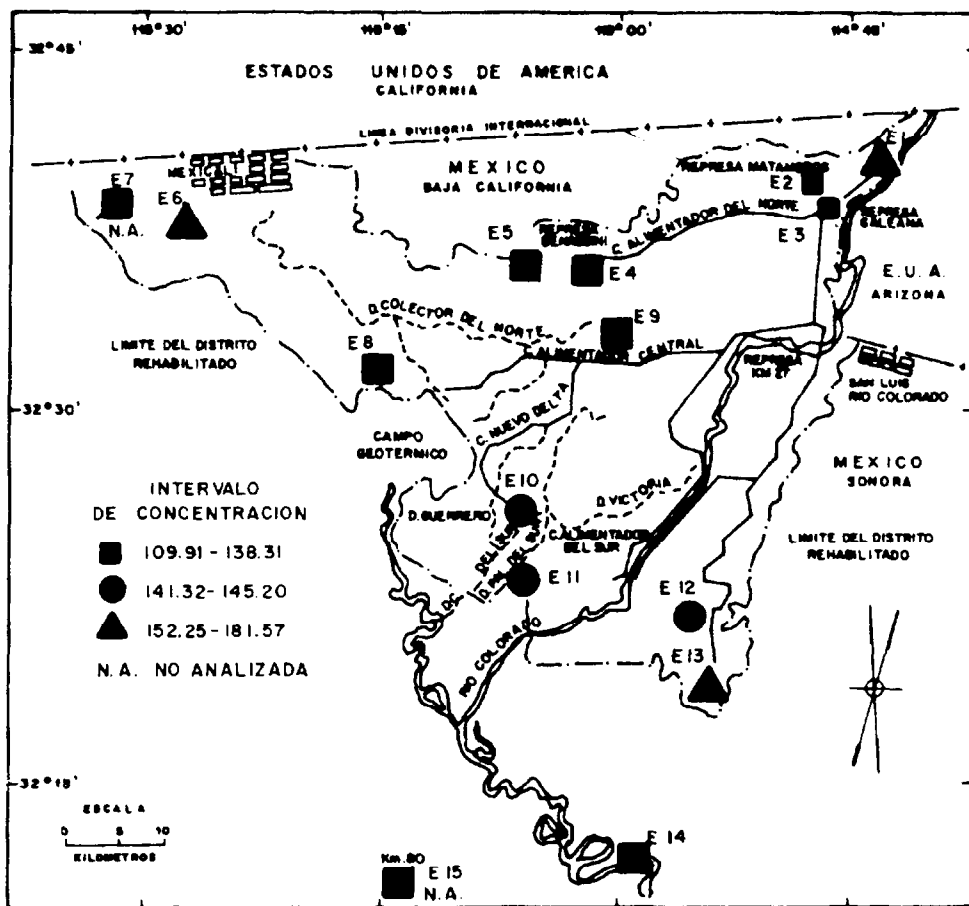


Figura 3. Distribución geográfica de la biodisponibilidad de zinc ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en *C. fluminea* del valle de Mexicali, Baja California.

Figure 3. Geographical distribution of the bioavailability of zinc ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in *C. fluminea* from Mexicali Valley, Baja California.

concentración significativas a nivel geográfico ($p < 0.001$). La clasificación espacial se muestra en la Tabla V y esquemáticamente en la Figura 4. Se observa un patrón de concentraciones de norte a sur, obteniéndose concentraciones menores (21.17-28.12 $\mu\text{g/g}$) en el norte (exceptuando la represa El Campillo, Est. 1, y el ejido Zaragoza, Est. 6). En la parte central del valle se localizaron las estaciones con valores medios (29.38-35.17 $\mu\text{g/g}$). Al sur, en la colonia Zacatecas (Est. 13), se detectó la mayor concentración (60.15 $\mu\text{g/g}$).

the geographical pattern remained unchanged during the sampling periods. The geographical differences are shown in Table V. In Figure 5, a heterogeneous distribution of the concentrations of manganese can be seen. In general, the area with highest concentrations was detected to the north of the valley (69.94-123.40 $\mu\text{g/g}$), whereas lower concentrations (28.59-38.32 $\mu\text{g/g}$) were observed at Represa Benassini (station 4), Colonia Cerro Prieto (station 8) and Colonia Zacatecas (station 13). Median values were detected scattered throughout the agricultural valley (48.45-66.78 $\mu\text{g/g}$).

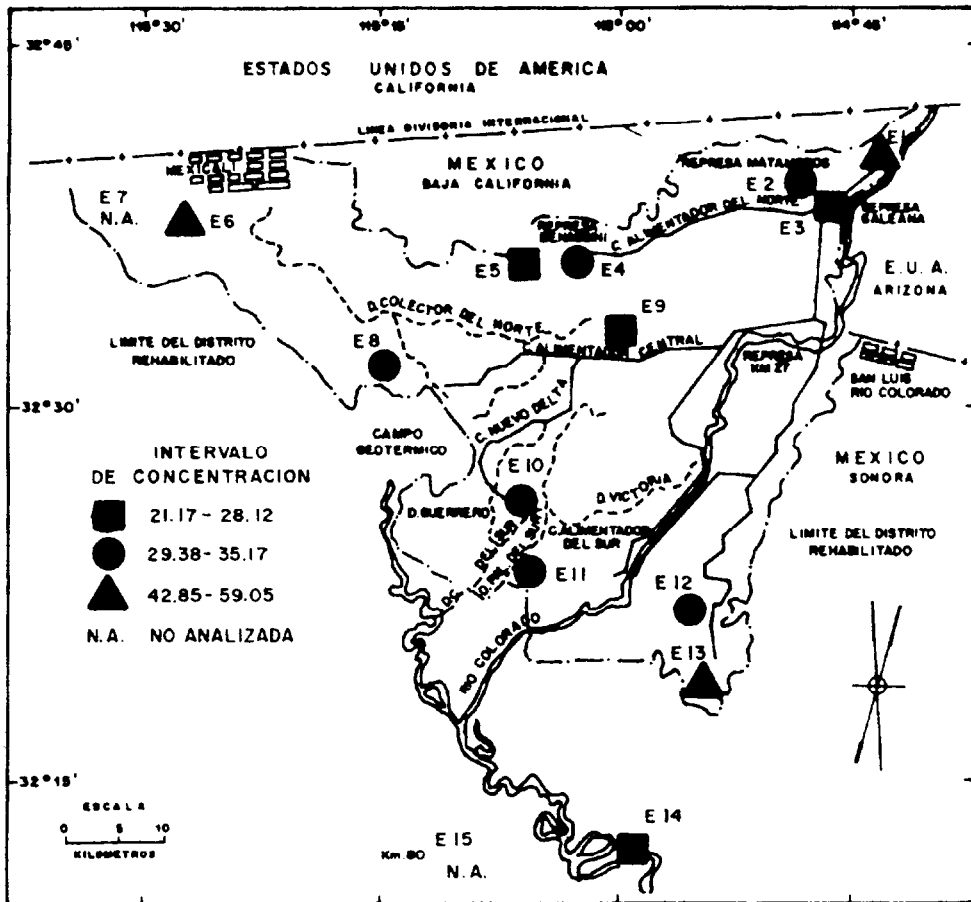


Figura 4. Distribución geográfica de la biodisponibilidad de cobre ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en *C. fluminea* del valle de Mexicali, Baja California.

Figure 4. Geographical distribution of the bioavailability of copper ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in *C. fluminea* from Mexicali Valley, Baja California.

Manganeso

El manganeso en *C. fluminea* mostró diferencias temporales y geográficas significativas ($p < 0.01$). El término interactivo indica que el patrón geográfico se mantuvo durante el tiempo de los muestreos. Las diferencias geográficas se presentan en la clasificación de la Tabla V. En la Figura 5, se observa una distribución heterogénea de las concentraciones de manganeso. En general, la zona que presentó mayor concentración se detectó al norte del valle ($69.94-123.40 \mu\text{g/g}$) y las de menor concentración ($28.59-38.32 \mu\text{g/g}$) se observaron en la represa Benassini

Cadmium

Concentrations of cadmium in *C. fluminea* were not detected in Mexicali Valley. Apparently, there is no significant contribution of this metal to the aquatic environment, since it was found below the detection limit ($0.01 \mu\text{g/g}$).

Silver

Significant geographical differences ($p < 0.001$) in the concentrations of silver in *C. fluminea* were detected. The spatial classification is shown in Table V. The geographical

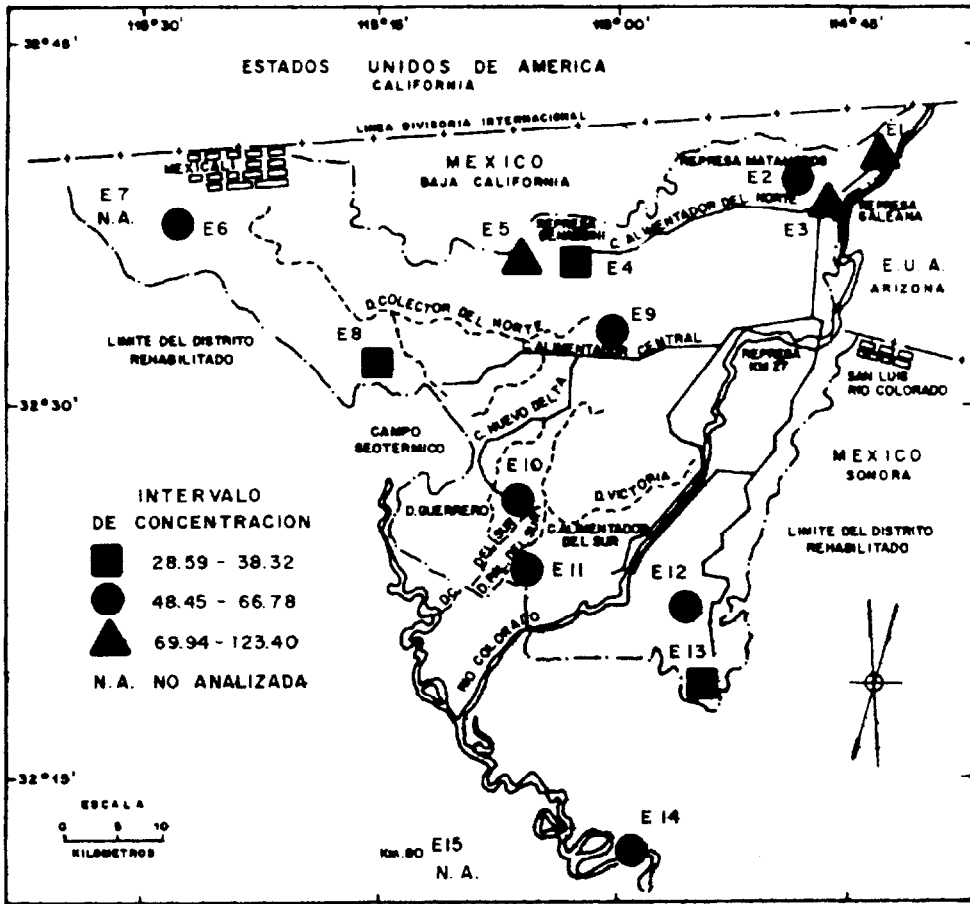


Figura 5. Distribución geográfica de la biodisponibilidad de manganeso ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en *C. fluminea* del valle de Mexicali, Baja California.
 Figure 5. Geographical distribution of the bioavailability of manganese ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in *C. fluminea* from Mexicali Valley, Baja California.

(Est. 4), en la colonia Cerro Prieto (Est. 8) y en la colonia Zacatecas (Est. 13). Los valores medios se detectaron muy dispersos en todo el valle agrícola (48.45-66.78 $\mu\text{g/g}$).

Cadmio

No se detectaron concentraciones de cadmio en *C. fluminea* en la zona del valle de Mexicali. Aparentemente no hay un aporte significativo de este metal al medio acuático ya que este elemento se encontró por debajo del límite de detección (0.01 $\mu\text{g/g}$).

distribution is shown in Figure 6. In general, homogeneous values (0.02-0.14 $\mu\text{g/g}$) were detected in the valley, except at El Campillo (station 1) and Ejido Zaragoza (station 6), sites identified as two points of major concentration (0.27-0.56 $\mu\text{g/g}$).

Aluminium

The concentrations of aluminium in *C. fluminea* presented significant spatial differences ($p < 0.001$) in the valley (Table V). The distribution of the concentrations can be seen

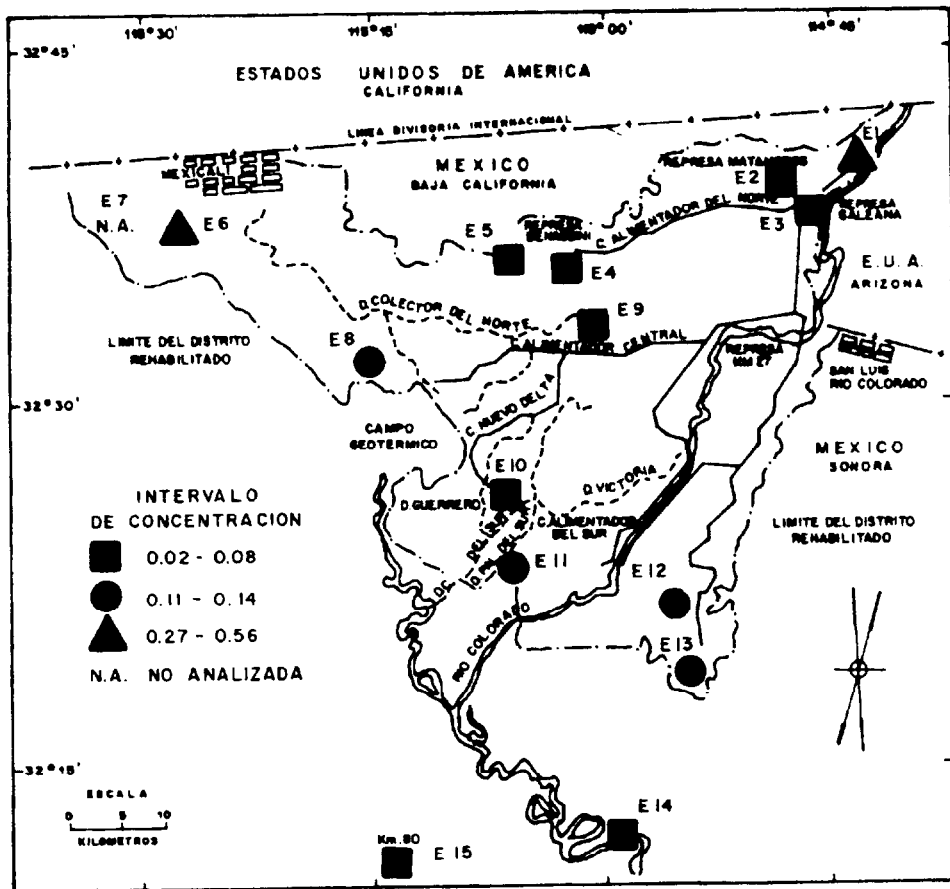


Figura 6. Distribución geográfica de la biodisponibilidad de plata ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en *C. fluminea* del valle de Mexicali, Baja California.

Figure 6. Geographical distribution of the bioavailability of silver ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in *C. fluminea* from Mexicali Valley, Baja California.

Plata

A nivel geográfico se detectaron diferencias significativas ($p < 0.001$) de las concentraciones de plata en *C. fluminea*. La clasificación espacial se muestra en la Tabla V. En la Figura 6 se observa el esquema de la distribución geográfica. Se detectaron valores homogéneos ($0.02\text{-}0.14 \mu\text{g/g}$) en general en el valle a excepción de El Campillo (Est. 1) y el ejido Zaragoza (Est. 6), localidades que se identifican como dos puntos de mayor concentración ($0.27\text{-}0.56 \mu\text{g/g}$).

in Figure 7. In general, low values ($420.02\text{-}655.92 \mu\text{g/g}$) were detected to the north, except at Represa Galeana (station 3) and Ejido Zaragoza (station 6). Median values ($897.13\text{-}1081.90 \mu\text{g/g}$) were detected in the south (stations 12 and 14) and higher values ($1310.77\text{-}2190.66 \mu\text{g/g}$) in the central area (stations 10 and 11).

Chromium

Significant geographical differences ($p < 0.01$) were detected in the concentration of chromium in *C. fluminea*. The values are

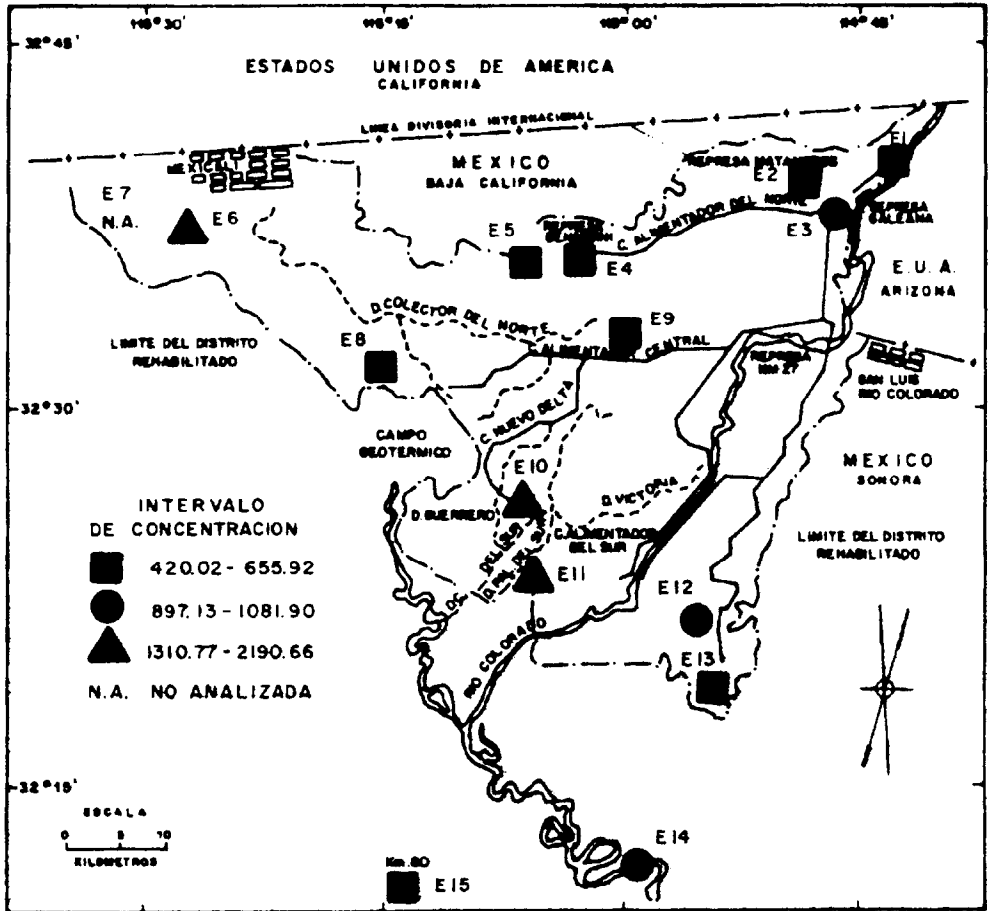


Figura 7. Distribución geográfica de la biodisponibilidad de aluminio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en *C. fluminea* del valle de Mexicali, Baja California.
 Figure 7. Geographical distribution of the bioavailability of aluminium ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in *C. fluminea* from Mexicali Valley, Baja California.

Aluminio

Las concentraciones de aluminio en *C. fluminea* presentan diferencias espaciales significativas ($p < 0.001$) en el valle (Tabla V). La distribución de las concentraciones se observan en la Figura 7, presentándose en general valores bajos ($420.02-655.92 \mu\text{g/g}$) al norte, a excepción de la represa Galeana (Est. 3) y el ejido Zaragoza (Est. 6). Los valores medios ($897.13-1081.90 \mu\text{g/g}$) se presentaron al sur (Est. 12 y 14) y los valores mayores ($1310.77-2190.66 \mu\text{g/g}$) se detectaron en la zona central (Est. 10 y 11).

shown in Table V. The distribution of chromium concentrations is shown in Figure 8. Higher values ($2.22-3.00 \mu\text{g/g}$) were detected in the central part of the valley.

Biometric characteristics

The biometric characteristics of the organisms collected during both samplings from all the stations in Mexicali Valley and upper Gulf of California are shown in Table VI. For the size, the anteroposterior length was measured with a plastic vernier (precision 0.01 mm). For the weight, all the soft tissue was considered in the clams and the gonad was eliminated in the mussel.

Tabla VI. Características biométricas (n = 3) de los organismos colectados en el valle de Mexicali y alto golfo de California durante agosto de 1985 (I) y febrero de 1986 (II).**Table VI.** Biometric characteristics (n = 3) of the organisms collected from Mexicali Valley and upper Gulf of California in August 1985 (I) and February 1986 (II).

Estación	Talla (mm) $\bar{x} \pm DE$		Peso del tejido (g) $\bar{x} \pm DE$		Peso húmedo/ peso seco \bar{x}	
	I	II	I	II	I	II
<i>Corbicula fluminea</i>						
1	35.39±3.62	30.55±1.26	2.51±0.84	1.40±0.40	7.01	6.93
2	35.46±1.95	33.84±6.61	3.18±0.75	2.97±0.66	5.46	6.17
3	23.68±1.03	25.94±1.92	0.72±0.11	1.34±0.42	5.62	4.87
4	32.03±1.24	33.31±3.79	2.02±0.28	2.98±0.52	5.34	3.94
5	37.72±1.28	40.36±3.03	2.76±0.43	3.30±1.01	5.07	6.34
6	25.90±1.07	34.11±4.24	0.86±0.12	1.92±0.61	7.74	8.77
7	26.22±1.68	na*	0.92±0.22	na	7.04	na
8	29.30±1.61	32.30±7.47	0.13±0.20	2.71±1.49	5.80	5.00
9	39.12±1.72	23.71±1.01	3.73±0.53	1.15±0.19	13.66	4.04
10	22.05±1.11	25.97±1.04	0.48±0.11	1.44±0.16	9.07	5.81
11	32.26±1.57	29.75±2.98	1.53±0.25	1.48±0.33	6.92	7.01
12	28.52±1.50	31.26±1.13	1.24±0.18	2.22±0.29	5.39	5.17
13	27.83±1.25	26.61±2.14	1.00±0.19	1.00±0.16	9.01	5.62
14	25.43±1.28	31.46±1.57	0.83±0.16	2.62±0.54	6.40	4.23
15	na	27.87±1.45	na	1.91±0.29	na	4.22
\bar{x}	30.09	30.05	1.65	2.01	7.11	5.58
DE	5.38	4.33	1.02	0.78	2.29	1.38
CV	17.74	14.19	61.81	38.80	32.22	24.73
<i>Chione californiensis</i>						
16	49.38±2.41	47.40±5.37	5.77±0.91	4.86±1.70	6.65	6.39
<i>Modiolus capax</i>						
17	79.36±2.71	80.54±10.2	9.66±1.05	11.88±2.14	5.22	4.84
18	89.68±5.44	88.86±6.22	18.12±2.85	21.53±3.51	4.28	2.21
19	66.72±3.12	84.44±3.87	8.58±1.33	11.37±2.45	3.77	8.78
\bar{x}	78.58	84.61	12.12	14.92	4.42	5.27
DE	11.49	4.16	5.22	5.72	0.73	3.30
CV	14.63	4.91	43.10	38.34	16.62	62.66

* na = no analizado.

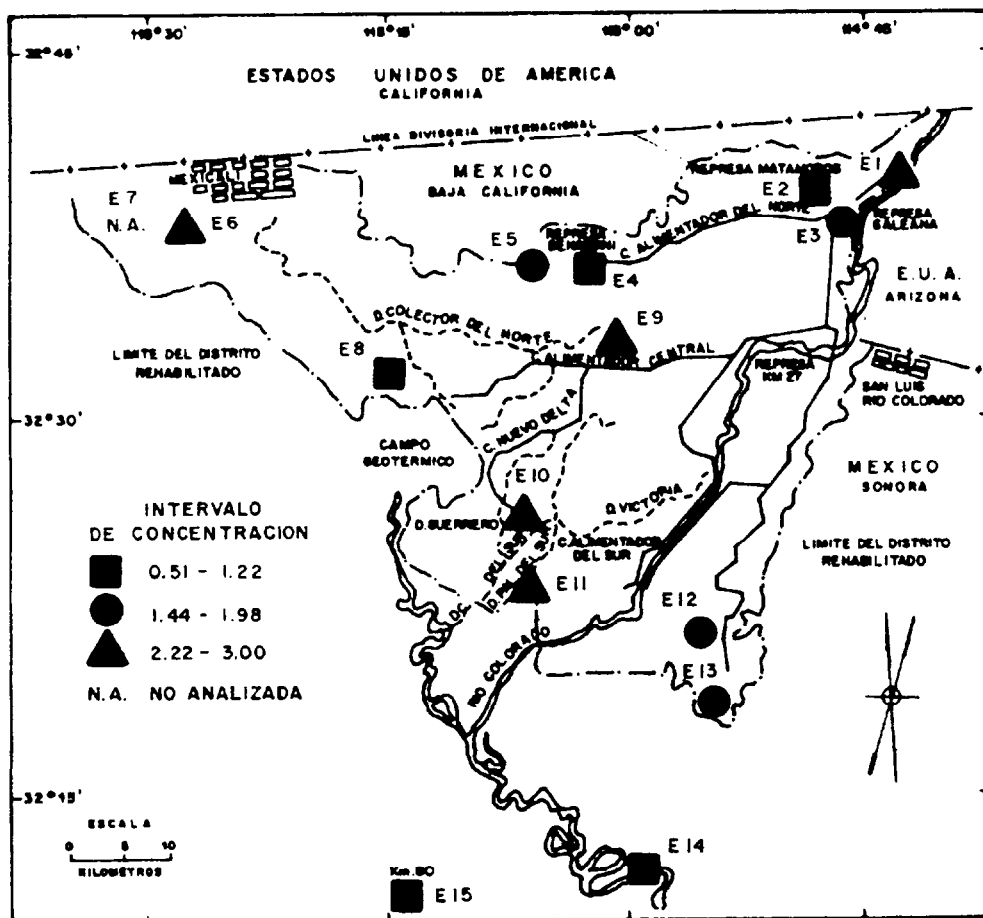


Figura 8. Distribución geográfica de la biodisponibilidad de cromo ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en *C. fluminea* del valle de Mexicali, Baja California.

Figure 8. Geographical distribution of the bioavailability of chromium ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in *C. fluminea* from Mexicali Valley, Baja California.

Cromo

Se detectaron diferencias geográficas significativas ($p < 0.01$) en la concentración de cromo en *C. fluminea*. La clasificación de valores se muestra en la Tabla V. La Figura 8 presenta la distribución de las concentraciones de cromo, localizándose valores mayores ($2.22\text{-}3.00 \mu\text{g/g}$) en la parte central del valle.

Características biométricas

En la Tabla VI se presentan las características biométricas de los organismos colectados en los dos muestreos cubriendo todas

Pearson's simple correlation coefficients of the trace metals analysed in 14 samples of *C. fluminea* and their corresponding values for the biometric data in February 1986 are shown in Table VII.

(b) Upper Gulf of California

The concentrations of trace metals detected in *C. californiensis* collected from the Gulf of Santa Clara (station 16) and in *M. capax* collected from the rest of the stations in the upper Gulf of California (stations 17, 18 and 19), are shown in Tables III and IV, respectively.

Tabla VII. Coeficientes de correlación entre metales y características biométricas en *C. fluminea*, durante febrero de 1986.

Table VII. Correlation coefficients between metals and biometric characteristics in *C. fluminea*, in February 1986.

	Zn	Cu	Mn	Ag	Cr	Al	Talla	PS	PH
Cu	0.510								
Mn									
Ag		0.626	0.742						
Cr	0.678								
Al	0.646				0.624				
Talla									
PS		-0.595			-0.708				
PH					-0.546		0.843	0.858	
PS/PH	-0.695	-0.677	-0.574	-0.539				0.581	

PS = peso seco.

PH = peso húmedo.

$r = 0.532$ ($p < 0.05$).

Tabla VIII. Variación geográfica de metales traza ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en *M. capax*. Las medias de las columnas verticales que presentan letras iguales no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Table VIII. Geographical variation of trace metals ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in *M. capax*. The means of the columns with the same letters are not significantly different ($p > 0.05$).

Estación	Zn (1) ***	Cu (1) ***	Mn (1) ***	Cd (2) **	Ag (1) ns	Al (1) ***	Cr (1) ns
17	120.20 c	22.01 c	556.92 c	18.55 a	0.15 a	254.56 c	0.59 a
18	92.62 b	13.88 b	165.67 b	19.22 c	0.06 a	92.57 b	0.44 a
19	69.06 a	9.97 a	35.53 a	12.28 b	0.10 a	70.56 a	0.75 a

ns = no significativo.

** significativo $p < 0.01$.

*** significativo $p < 0.001$.

(1) ANVA 2 vías febrero y agosto ($n = 6$).

(2) ANVA 1 vía agosto ($n = 3$).

las estaciones del valle de Mexicali y alto golfo de California. Para la talla se midió la longitud anteroposterior con un vernier de plástico (precisión 0.01 mm). Para el peso, la totalidad del tejido blando fue considerado en las almejas y para el mejillón la gonada fue eliminada.

For the clam *C. californiensis*, results regarding the concentrations of the metals obtained during both samplings are presented (Tables III and IV). The metals detected in *M. capax* showed significant temporal differences ($p > 0.01$). Significant geographical differences ($p < 0.001$) were only detected for zinc, cop-

En la Tabla VII se observan los coeficientes de correlación simple de Pearson de los metales traza analizados en 14 muestras de *C. fluminea* y sus valores correspondientes para los datos biométricos durante febrero de 1986.

(b) Alto golfo de California

Las concentraciones de metales traza detectados en *C. californiensis* colectado en el golfo de Santa Clara (Est. 16) y en *M. capax* colectado en el resto de las localidades del alto golfo de California (Est. 17, 18 y 19), se muestran en las Tablas III y IV respectivamente.

Para la almeja *C. californiensis* se presentan resultados locales en las concentraciones de los metales obtenidos en ambos muestreos (Tablas III y IV). Los metales detectados en *M. capax* no presentaron diferencias temporales significativas ($p > 0.01$). Se detectaron diferencias geográficas significativas ($p < 0.001$) únicamente para zinc, cobre, manganeso y aluminio. Para estos cuatro metales se observó un gradiente de norte a sur en el área estudiada, con valores mayores (120.20, 22.01, 556.92 y 254.56 $\mu\text{g/g}$) en Punta Estrella (Est. 17) y valores menores (69.06, 9.97, 35.53 y 70.56 $\mu\text{g/g}$) en Bahía de los Angeles (Est. 19) (Tabla VIII). Los metales plata y cromo presentaron una distribución geográfica homogénea ($p > 0.05$). El cadmio presentó diferencias geográficas significativas ($p < 0.01$) en agosto, destacándose una mayor concentración (19.22 $\mu\text{g/g}$) en Bahía San Luis Gonzaga (Est. 18) y una menor concentración (12.28 $\mu\text{g/g}$) en Bahía de los Angeles (Est. 19).

DISCUSSION

Valle agrícola de Mexicali, Baja California

Las concentraciones de metales traza detectadas en *C. fluminea* en este estudio muestran la presencia de estos elementos en las aguas de los canales y drenes del valle de Mexicali. De manera general, la secuencia de concentraciones de metales traza en este valle agrícola fue de $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ durante agosto de 1985 (Tabla III), y $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ag}$ durante febrero de 1986 (Tabla IV). Martin y Meybeck (1979) mencionan que la concentración promedio de metales traza en el material particulado trans-

per, manganese and aluminium. In the study area a north-south gradient was observed for these four metals, with higher values (120.20, 22.01, 556.92 and 254.56 $\mu\text{g/g}$) at Punta Estrella (station 17), and lower values (69.06, 9.97, 35.53 and 70.56 $\mu\text{g/g}$) at Bahía de los Angeles (station 19) (Table VIII). Silver and chromium presented a homogeneous geographical distribution ($p > 0.05$). Cadmium presented significant geographical differences ($p < 0.01$) in August, with a higher concentration (19.22 $\mu\text{g/g}$) at Bahía San Luis Gonzaga (station 18) and a lower concentration (12.28 $\mu\text{g/g}$) at Bahía de los Angeles (station 19).

DISCUSSION

Mexicali Valley, Baja California

The concentrations of trace metals detected in *C. fluminea* in this study indicate the presence of these elements in the waters of the Mexicali Valley irrigation system. In general, the sequence of trace metal concentrations in this agricultural valley was $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ in August 1985 (Table III), and $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ag}$ in February 1986 (Table IV). Martin and Meybeck (1979) mention that the average concentration of trace metals in the particulate matter transported by major world rivers present a sequence of $\text{Al} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{Ag}$. These authors indicate a sequence of $\text{Al} > \text{Mn} > \text{Cr}$ for the Colorado River. The similarities in the sequences of trace metal concentration in the clam *C. fluminea* and the average concentration of these elements in the particulate matter transported by rivers, suggests that these trace metals come from the particulate matter. Abaychi and Mustafa (1988), in their study of contamination by trace metals in the Shatt Al-Arab River in Iraq, found a high correlation between trace metal concentrations in particulate matter (organic and inorganic) and trace metal concentrations in *C. fluminea*. Gutiérrez-Galindo *et al.* (1989), in their study on trace metals in the fishes *Tilapia* sp. and *Cyprinus carpio* from Mexicali Valley, basically found the same sequence of concentration of these elements ($\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ag}$) to that found in this study, except that these authors detected neither cadmium (not detected in *C. fluminea* in this study) nor aluminium in the fishes.

portado por los principales ríos del mundo presentan una secuencia de Al > Mn > Zn > Cu > Cd > Cr > Ag. Estos autores señalan, en particular para el río Colorado, una secuencia Al > Mn > Cr. Las similitudes en las secuencias de concentración de metales traza en la almeja *C. fluminea* y la concentración promedio de estos elementos en el material particulado transportado por los ríos, sugiere que estos metales traza proceden del material particulado. Abaychi y Mustafa (1988), en su estudio de contaminación por metales traza en el río Shatt Al-Arab, en Irak, encontraron una alta correlación entre las concentraciones de metales traza en el material particulado (orgánico e inorgánico) y las concentraciones de metales traza en *C. fluminea*. Gutiérrez-Galindo *et al.* (1989), en su estudio de metales traza en los peces *Tilapia* sp. y *Cyprinus carpio* del valle de Mexicali, encuentran básicamente la misma secuencia de concentración de estos elementos (Zn > Mn > Cu > Cr > Ag) a la encontrada en este estudio, excepto que estos autores no detectaron cadmio (tampoco detectado en *C. fluminea* en este estudio) ni aluminio en los peces.

Los resultados de las pruebas estadísticas muestran diferencias geográficas significativas para todos los elementos medidos en *C. fluminea*. En general las razones máximo/mínimo calculadas para cada uno de los elementos indican que la variabilidad geográfica es pequeña, ya que estas razones no van más allá de un orden de magnitud. Únicamente la Ag presentó una razón máximo/mínimo de 27.5. El Cu, Zn y Mn presentaron un comportamiento geográfico muy similar entre ellos. Las variaciones geográficas de las concentraciones de Al, Ag y Cr en *C. fluminea* en términos de la razón máximo/mínimo fueron mayores que las observadas en los metales Cu, Zn y Mn. La poca variabilidad geográfica del Cu y Zn puede estar asociada a una biodisponibilidad debida a una composición geoquímica e hidroquímica en el área de estudio, a un proceso de regulación metabólica por *C. fluminea* (fenómeno que no se observa para los otros elementos), o bien, a un grado de desarrollo gonadal similar en las almejas residentes en el área geográfica examinada. Otros estudios muestran la facultad de los moluscos bivalvos

The results of the statistical tests indicate significant geographical differences for all the elements measured in *C. fluminea*. In general, the maximum/minimum ratios calculated for each of the elements indicate that the geographical variability is small, as these ratios do not exceed one order of magnitude. Only Ag had a maximum/minimum ratio of 27.5. Cu, Zn and Mn presented a very similar geographical behaviour. The geographical variations of the concentrations of Al, Ag and Cr in *C. fluminea* in terms of the maximum/minimum ratio, were higher than those observed for Cu, Zn and Mn. The small geographical variability of Cu and Zn can be associated to bioavailability due to a geochemical and hydrochemical composition in the study area, to a process of metabolic regulation by *C. fluminea* (phenomenon not observed for the other elements) or rather, to a similar degree of gonadal development in the clams found in the study area. Other studies show the ability of bivalve molluscs (oysters-mussels) to regulate the concentrations of Cu and Zn (Bryan, 1980). The concentrations of Zn and Mn in *C. fluminea* presented temporal differences which can be attributed to the weight of the organism. Cain and Luoma (1986) mention that biological processes (change of weight of the organism) can cause temporal variability in the concentration of the metals in bivalve molluscs.

The relatively high levels (\bar{x} 914.02 $\mu\text{g/g}$) of aluminium (element that is almost exclusively transported in the particulate fraction of rivers, Martin and Meybeck, 1979), indicate that *C. fluminea* can incorporate high quantities of this element in particulate form. The clam presented high concentrations of Al (2190.66 $\mu\text{g/g}$) compared with those found in *C. fluminea* (403.62 $\mu\text{g/g}$) from the San Joaquin Valley, California, USA (Stephenson *et al.*, 1986). This phenomenon could be due to a greater transport of particulate matter by the Colorado River in Mexicali Valley. Like Zn (225.65 $\mu\text{g/g}$) and Cu (54.85 $\mu\text{g/g}$), Al also presented higher concentrations in Canal Reforma of Ejido Zaragoza (station 6), located close to the city of Mexicali, B.C. Geographically, Al was one of the most variable elements in Mexicali Valley. These differences can be

(ostiones-mejillones) para regular las concentraciones de Cu y Zn (Bryan, 1980). Las concentraciones de Zn y Mn en *C. fluminea* presentaron diferencias temporales, las cuales pueden ser atribuidas al peso del organismo. Cain y Luoma (1986) mencionan que los procesos biológicos (cambio de peso del organismo) pueden causar una variabilidad temporal en la concentración de los metales en moluscos bivalvos.

Los niveles relativamente altos (\bar{x} 914.02 $\mu\text{g/g}$) de aluminio (elemento que es transportado casi exclusivamente en la fracción particulada de los ríos; Martin y Meybeck, 1979), nos indican que *C. fluminea* puede incorporar cantidades elevadas de este elemento en forma particulada. La almeja presentó concentraciones altas de Al (2190.66 $\mu\text{g/g}$) comparadas con las señaladas (403.62 $\mu\text{g/g}$) en *C. fluminea* colectada en el valle de San Joaquín en California, EUA (Stephenson *et al.*, 1986). Este fenómeno pudiera deberse a un mayor transporte de material particulado por el río Colorado en el valle de Mexicali. El Al al igual que el Zn (225.65 $\mu\text{g/g}$) y el Cu (54.85 $\mu\text{g/g}$) presentan concentraciones mayores en el canal Reforma del ejido Zaragoza (Est. 6), localidad muy cercana a la ciudad de Mexicali, B.C. El Al fue uno de los elementos más variables geográficamente en el valle de Mexicali; estas diferencias pueden estar asociadas principalmente a características hidrológicas (acarreo de material particulado) en cada localidad.

Las concentraciones de cromo en *C. fluminea* fueron bajas para la región estudiada (Tabla IV). Sin embargo, se observaron algunos puntos de enriquecimiento de cromo en las estaciones ejido Zaragoza (Est. 6), ejido Quintana Roo (Est. 9), ejido Sonora (Est. 10) y colonia Carranza (Est. 11), con 3.0, 2.68, 2.22 y 2.53 $\mu\text{g/g}$ respectivamente (Tabla IV). El enriquecimiento de cromo en estas localidades está relacionado a la existencia de algún aporte antropogénico o natural desconocido. Taylor (1964) menciona que el cromo es el tercer elemento en abundancia de la corteza terrestre. Posiblemente, sea ésta una razón por la cual el cromo se encuentre distribuido en el valle agrícola de Mexicali. Martin y Meybeck (1979) señalan que algunos metales traza (Cr, Co, Fe, Mn) son menos movilizados que otros de la corteza terrestre. La poca variabilidad

asociada mainly to hydrological characteristics (transport of particulate matter) at each site.

The concentrations of chromium in *C. fluminea* were low (Table IV). However, some points of chromium enrichment were observed at Ejido Zaragoza (station 6), Ejido Quintana Roo (station 9), Ejido Sonora (station 10) and Colonia Carranza (station 11), with 3.0, 2.68, 2.22 and 2.53 $\mu\text{g/g}$ respectively (Table IV). Chromium enrichment at these sites is related to the existence of an unknown natural or anthropogenic source. Taylor (1964) mentions that chromium is the third most abundant element in the earth's crust. This could possibly be the reason that chromium is found distributed in the agricultural valley of Mexicali. Martin and Meybeck (1979) indicate that some trace metals (Cr, Co, Fe, Mn) are less mobilized from the earth's crust than others. The small geographical variability of chromium found in the valley is possibly associated to the little mobilization of this metal.

Silver, except at El Campillo (station 1) and Canal Reforma in Ejido Zaragoza (station 6), presented generally low and homogeneous levels throughout Mexicali Valley (Table IV, Fig. 6). Due to the concentration of Ag at station 1 (0.56 $\mu\text{g/g}$), this element presented the highest maximum/minimum ratio (27.5) compared to the rest of the metals. According to Taylor (1964), silver is a relatively scarce metal in the earth's crust. Martin and Meybeck (1979) mention that silver is transported by rivers in relatively low levels (0.3-60 $\mu\text{g/g}$ in particulate matter). These antecedents could explain the low concentrations of this element in *C. fluminea* found in this study. The high values of silver at El Campillo (0.56 $\mu\text{g/g}$) and Canal Reforma, Ejido Zaragoza (0.27 $\mu\text{g/g}$) are probably related to an undetermined source.

Cadmium in *C. fluminea* was found to be below the detection limit (0.01 $\mu\text{g/g}$). Antecedents indicate that cadmium is relatively more abundant than chromium and silver, both in the earth's crust (Taylor, 1964) and in the particulate matter transported by rivers (Martin and Meybeck, 1979). Comparing the cadmium values (1.0-12.4 $\mu\text{g/g}$ dry weight) found in *C. fluminea* in San Antonio Lake, California, USA (Stephenson *et al.*,

geográfica del cromo encontrada en el valle posiblemente esté asociada a la escasa movilización de este metal.

La Ag, a excepción de la represa El Campillo (Est. 1) y el canal Reforma en el ejido Zaragoza (Est. 6), presenta niveles generalmente bajos y homogéneos en todo el valle de Mexicali (Tabla IV, Fig. 6). La concentración de Ag en la estación 1 ($0.56 \mu\text{g/g}$) hace que este elemento presente la razón máximo/mínimo (27.5) más elevada comparada con el resto de los metales. De acuerdo con Taylor (1964), la plata es un elemento relativamente escaso en la corteza terrestre. Martin y Meybeck (1979) mencionan que la plata es transportada por los ríos en niveles relativamente bajos ($0.3\text{-}60 \mu\text{g/g}$ en material particulado). Estos antecedentes pueden explicar las bajas concentraciones de este elemento en *C. fluminea* de la región examinada. Los valores altos de plata en la represa El Campillo ($0.56 \mu\text{g/g}$) y en el canal Reforma del ejido Zaragoza ($0.27 \mu\text{g/g}$) es probable que se relacionen a una fuente aún no determinada.

En *C. fluminea* el cadmio fue encontrado por debajo del límite de detección ($0.01 \mu\text{g/g}$), siendo que existen antecedentes que muestran que el cadmio es relativamente más abundante que el cromo y la plata tanto en la corteza terrestre (Taylor, 1964), como en el material particulado transportado por los ríos (Martin y Meybeck, 1979). Comparando valores de cadmio ($1.0\text{-}12.4 \mu\text{g/g}$ peso seco) encontrados en *C. fluminea* en el Lago de San Antonio, en el estado de California, EUA (Stephenson *et al.*, 1985) y los señalados por Abaychi y Mustafa (1988) en Irak ($11.6\text{-}53.1 \mu\text{g/g}$ peso seco), se puede suponer que la especie acumula el metal. La explicación de que no se detectara el cadmio en el estudio probablemente se relaciona con la forma del elemento, el cual no es biodisponible para la almeja o porque las concentraciones de cadmio son bajas en el valle agrícola. Gutiérrez-Galindo *et al.* (1989), en su estudio de concentraciones de metales traza en el pez *Tilapia* sp. residente en el sistema de riego del valle de Mexicali, no detectaron niveles de cadmio en el músculo comestible de los peces. El hallazgo lo asocian a características de la zona, la especie o del metal.

1985) and those indicated by Abaychi and Mustafa (1988) in Iraq ($11.6\text{-}53.1 \mu\text{g/g}$ dry weight), it can be assumed that the species accumulates this metal. The reason that cadmium was not detected in this study could possibly be due to the form of the element, which is not bioavailable to the clam, or because cadmium concentrations were low in the agricultural valley. Gutiérrez-Galindo *et al.* (1989), in their study on trace metal concentrations in the fish *Tilapia* sp. resident in the irrigation system of Mexicali Valley, did not detect levels of cadmium in the edible muscle of the fish. They associate this to characteristics of the area, the species or the metal.

Correlation analyses in monitoring programs of contamination by metals are useful because the coefficients can indicate the common origin of the metals, assimilation processes and similar physiological function of the elements (Stephenson *et al.*, 1979), or rather they indicate similar physicochemical properties between the elements. These coefficients can be modified by anthropogenic changes in the metals and/or physiological changes in the bioindicator organisms. The intermetallic relation between Al, Cr and Zn presented in Table VII, possibly reflects a common source of these elements (origin associated to particulate terrigenous matter that is transported by the Colorado River or to the geochemical composition of the substrate in which the clams reside). Salomons and Forstner (1984) establish that Al and Fe are mainly transported by rivers in the particulate fraction. They indicate that 90% of the total Cr is transported in this fraction and they add that this same fraction can be enriched with Zn, Cu, Pb and Mo. Horowitz *et al.* (1989) mention that the concentration of Cr, Zn and Cu in sediments of different fresh water substrates can mainly be explained by the variation of the concentration of the elements characteristic (Al, Fe, Mn and Ti) of the matrix of the sediment, by the coverage of the sediment by Fe and Mn oxides and, in the case of Cu, by the organic matter in the sediment.

The correlation between Ag and Cu observed herein can be associated to similar physicochemical properties or to the joining of

La utilidad de los análisis de correlación en estudios de vigilancia de contaminación por metales reside en que los coeficientes pueden indicar: el origen común de los metales, procesos de asimilación y función fisiológica similar de los elementos (Stephenson *et al.*, 1979), o bien indican propiedades fisicoquímicas semejantes entre los elementos. Estos coeficientes pueden ser modificados por cambios antropogénicos de los metales y/o cambios fisiológicos de los organismos bioindicadores. Las relaciones intermetálicas entre Al, Cr y Zn que se presentan en la Tabla VII reflejan posiblemente un origen común de estos elementos (origen asociado al material terrígeno particulado que se transporta por el río Colorado o a la composición geoquímica del sustrato donde residen las almejas examinadas). Salomons y Forstner (1984) establecen que el Al y Fe son transportados por los ríos principalmente en la fracción particulada. Señalan que el 90% del Cr total se transporta en esta fracción y agregan que esta misma fracción puede estar enriquecida con Zn, Cu, Pb y Mo. Horowitz *et al.* (1989) mencionan que la concentración de los elementos Cr, Zn y Cu en sedimentos de diferentes sustratos dulceacuícolas se explican principalmente por: la variación de la concentración de los elementos característicos (Al, Fe, Mn y Ti) de la matriz del sedimento, por los recubrimientos del sedimento de óxidos de Fe y Mn y por la materia orgánica en el sedimento para el caso del Cu.

La correlación observada en este estudio entre la Ag y el Cu puede estar asociada a las propiedades fisicoquímicas similares o a la unión de estos elementos con un ligando común como lo sugiere Simkiss *et al.* (1982).

En la Tabla VII, además de los coeficientes de correlación derivados de las relaciones intermetálicas, se presentan los coeficientes que se asocian al peso húmedo, peso seco y la razón peso seco/peso húmedo con las concentraciones de los metales. El carácter negativo de los coeficientes sugiere que las concentraciones de los metales Cr y Cu son proporcionalmente mayores en almejas de menor peso seco. Este comportamiento también lo presentan los metales Zn, Cu, Mn y Ag en relación a la razón peso seco/peso húmedo y el Cr con respecto al peso húmedo de estos

these elements with a common bond as is suggested by Simkiss *et al.* (1981).

In Table VII, apart from the correlation coefficients derived from the intermetallic relation, the coefficients associated to wet weight, dry weight and the ratio dry weight/wet weight with the metal concentrations are also presented. The negative sign of the coefficients suggests that the concentrations of Cr and Cu are proportionally higher in clams with lower dry weight. This behaviour is also presented by Zn, Cu, Mn and Ag in relation to the ratio dry weight/wet weight and by Cr with respect to the dry weight of these molluscs. This behaviour is possibly related to a dilution phenomenon of the metal on increasing the cellular mass as long as the concentration of Cr and Cu does not increase in the environment and/or to a greater capacity of regulation of the larger organisms. Abaychi and Mustafa (1988), in relation to size, found the aforementioned relation for Cu, Zn, Pb and Ni (Mn behaved indistinctly in relation to size) in the clam *Corbicula fluminea*. However, N.S. Luoma, R. Dagovitz and E. Axtmann (unpublished), for the case of Cr and Cu in *Corbicula* sp. collected from San Francisco Bay, USA, found an inverse relationship to that observed by Abaychi and Mustafa (1988) and this study. Luoma *et al.* (unpublished) attribute this to contamination by these metals in their study area.

Upper Gulf of California

The concentrations of trace metals in *C. californiensis* and *M. capax* reflect the presence of these elements in the waters of the upper Gulf of California. The clam *C. californiensis* collected from the Gulf of Santa Clara, Sonora, presented a concentration sequence of Al > Zn > Cu > Mn > Cd > Cr > Ag. This sequence is similar to that observed for the clam *C. fluminea* from Mexicali Valley. This similar concentration sequence in both clams indicates the existence of a contribution of particulate matter enriched with metals, which at some point was transported by the Colorado River to the upper Gulf of California. Kuenen (1976, cited by Warren, 1981) mentions that rivers are a principal source of particulate matter to the oceans, depositing most part of the load in coastal areas. Prohic

moluscos. Este comportamiento posiblemente se encuentra relacionado a un fenómeno de dilución del metal al incrementarse la masa celular siempre y cuando la concentración de Cr y Cu no aumente en el medio ambiente y/o a una mayor capacidad de regulación de los organismos de mayor talla. Abaychi y Mustafa (1988), con respecto a la talla, observan la anterior relación para los metales Cu, Zn, Pb y Ni (el Mn se comportó indistintamente en relación a esta característica) en las almejas *Corbicula fluminea*. Sin embargo, N.S. Luoma, R. Dagovitz y E. Axtmann (no publicado) encontraron para el caso de Cr y Cu en *Corbicula* sp. colectada en la bahía de San Francisco, EUA, una relación contraria a la observada por Abaychi y Mustafa (1988) y esta investigación. Luoma *et al.* (no publicado) atribuyen este hallazgo a una contaminación por estos metales en el área que estudiaron.

Alto golfo de California

Las concentraciones de metales traza en *C. californiensis* y en *M. capax* reflejan la presencia de estos elementos en las aguas del alto golfo de California. La almeja *C. californiensis* colectada en el golfo de Santa Clara, Sonora, presentó una secuencia de concentración de Al > Zn > Cu > Mn > Cd > Cr > Ag, secuencia similar a la observada en la almeja *C. fluminea* del valle de Mexicali. Esta similitud de secuencia de concentraciones de elementos en ambas almejas indica la existencia de un aporte de material particulado enriquecido con metales, el cual en algún tiempo fue transportado por el río Colorado hacia el área del alto golfo de California. Kuenen (1965, citado por Warren, 1981) menciona que los ríos son la fuente principal de material particulado a los océanos, depositando la mayor parte de la carga en las zonas costeras. Prohic y Kniewald (1987) señalan que los cambios en las propiedades de la dinámica del agua del río provocan la acumulación de sedimentos de grano fino con alto contenido de materia orgánica, la cual a través de procesos de adsorción, puede jugar un papel importante en el transporte de elementos traza al suelo marino.

La almeja *C. californiensis* presentó concentraciones de metales más altos en agosto de 1985 que en febrero de 1986 (Tablas

and Kniewald (1987) indicate that changes in the dynamic properties of river water result in the accumulation of fine-grain sediments with a high content of organic matter, which can, through adsorption processes, play an important role in the transport of trace metals to the sea floor.

The clam *C. californiensis* presented higher metal concentrations in August 1985 than in February 1986 (Tables III and IV). Al presented more variability between both samplings, being twice as high in August than in February, indicating a difference in the availability of the metal between both collections.

The concentrations of Zn, Cu, Mn and Al detected in the mussel *M. capax* collected at the three stations in the Gulf of California, presented a marked north to south concentration gradient (Table VIII). This distribution could be explained by a possible significant contribution of clay material containing trace metals, which was transported by the Colorado River and deposited in the northern part of the Gulf.

The homogeneity in the bioavailability of silver and chromium in *M. capax* indicates that there is possibly no significant anthropogenic contribution of these elements to the area studied, given the low levels detected both for silver (0.07-0.13 $\mu\text{g/g}$) and chromium (0.46-0.72 $\mu\text{g/g}$).

The values of cadmium (12.28-19.22 $\mu\text{g/g}$) detected in *M. capax* in the upper Gulf of California in August 1985 (Table III) are high compared to other values (1.0-9.8 $\mu\text{g/g}$) indicated by Ladd *et al.* (1984) in the mussel *Mytilus edulis* along the coasts of California, USA. Martin *et al.* (1984) found high values (9.4-18.9 $\mu\text{g/g}$) of cadmium in the mussel *Mytilus californianus* from San Francisco Bay, California, USA. The concentrations of cadmium detected in *M. capax* in this study were higher than the limits established by FAO-ONU for bivalve molluscs destined for human consumption. Cadmium presented a maximum value of 4.48 $\mu\text{g/g}$ (wet weight) in Bahía San Luis Gonzaga; this value is 3.48 times higher than that established (1.0 $\mu\text{g/g}$ wet weight) by international health authorities (FAO-ONU, 1983, in Nauen, 1983).

III y IV). El Al presentó mayor variabilidad entre ambos muestreos siendo dos veces mayor en agosto que en febrero, lo cual indica una diferencia en la disponibilidad del metal entre ambas colectas.

Las concentraciones de Zn, Cu, Mn y Al detectadas en el mejillón *M. capax* colectado en las tres estaciones del golfo de California, presentaron un gradiente de concentración marcado de norte a sur (Tabla VIII). Esta distribución puede explicarse en base a un posible aporte significativo de material arcilloso conteniendo metales traza, el cual fue transportado por el río Colorado y depositado en la parte norte del golfo.

La homogeneidad en la biodisponibilidad de plata y cromo en *M. capax* indica que posiblemente no existe un aporte antropogénico significativo de estos elementos a la zona estudiada dado los bajos niveles detectados tanto para la plata (0.07-0.13 $\mu\text{g/g}$) como para el cromo (0.46-0.72 $\mu\text{g/g}$).

Los valores de cadmio (12.28-19.22 $\mu\text{g/g}$) detectados en *M. capax* en el alto golfo de California durante agosto de 1985 (Tabla III), son altos comparados con otros valores (1.0-9.8 $\mu\text{g/g}$) señalados por Ladd *et al.* (1984) en el mejillón *Mytilus edulis* de las costas de California, EUA. Martin *et al.* (1984) encontraron valores altos (9.4-18.9 $\mu\text{g/g}$) de cadmio en el mejillón *Mytilus californianus* residentes en la bahía de San Francisco, en California, EUA. Las concentraciones de cadmio detectadas en *M. capax* examinado en este estudio fueron superiores a los límites establecidos por FAO-ONU en moluscos bivalvos destinados para el consumo humano. El cadmio presentó un máximo valor de 4.48 $\mu\text{g/g}$ (peso húmedo) en la localidad de Bahía San Luis Gonzaga, siendo este valor 3.48 veces superior al establecido (1.0 $\mu\text{g/g}$ peso húmedo) por las autoridades sanitarias internacionales (FAO-ONU, 1983 en Nauen, 1983).

La falta de antecedentes de metales traza en moluscos en estas regiones no permite realizar un estudio comparativo de nuestros resultados, sino sólo presentar estos valores como una referencia para estudios posteriores encaminados a determinar la evolución de la contaminación por elementos traza en el ecosistema del valle de Mexicali y alto golfo de California.

Due to the lack of antecedents of trace metals in molluscs of these regions, comparative studies cannot be conducted with our results. These are presented to serve as reference in further studies aimed at determining the evolution of the contamination by trace metals in the ecosystem of Mexicali Valley and upper Gulf of California.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the Secretaría de Educación Pública, Mexico, for partially financing this study (projects 85-01-0157 and 86-01-0425). To the State Mussel Watch, California Department of Fish and Game, particularly Michael Martin and Mark D. Stephenson, for their analytical assistance. To Ramón Moreno Castillo for preparing the figures and Beatriz Meléndez Sáenz for typing the manuscript.

English translation by Christine Harris.

ACRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Educación Pública, México, por su financiamiento parcial (Convenios 85-01-0157 y 86-01-0425) para este estudio. Al Departamento de Caza y Pesca de California, EUA (State Mussel Watch, Department of Fish and Game) y su personal Michael Martin y Mark D. Stephenson por su asistencia analítica. A Ramón Moreno Castillo, nuestro reconocimiento por la elaboración de figuras. A Beatriz Meléndez Sáenz, nuestro agradecimiento por su trabajo de mecanografía.

LITERATURA CITADA

Abaychi, J.K. and Mustafa, Y.Z. (1988). The Asiatic clam, *Corbicula fluminea*: An indicator of trace metal pollution in the Shatt Al-Arab River, Iraq. *Environ. Pollut.*, 54: 109-122.

Bryan, G.W. (1980). Recent trends in research on heavy-metal contamination in the sea. *Helgolander Meeresunters.* 33: 6-25.

Cain, D.J and Luoma, S.N. (1986). Effect of seasonally changing tissue weight on trace metal concentration in the bivalve *Macoma balthica* in San Francisco Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 28: 209-217.

- Forstner, U. and Prosi, F. (1978). *Heavy Metal Pollution in Freshwater Ecosystems*. Institut für Sediment Forschung, Universität Heidelberg, Germany.
- Forstner, U. and Wittmann, G. (1979). *Metal Pollution in Aquatic Environment*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 486 pp.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G. and Villaescusa-Celaya, J.A. (1988a). Chlorinated hydrocarbons in molluscs of the Mexicali Valley and upper Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 14(3): 91-113.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G., Villa-Andrade, M.F. and Villaescusa-Celaya, J.A. (1988b). Organochlorine insecticides in fishes from the Mexicali Valley, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 14(4): 1-22.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G. and Aguilar Flores, A. (1988c). Mercury in freshwater fish and clam from the Cerro Prieto geothermal field of Baja California, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 41: 201-207.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores Muñoz, G. and Rojas Reynosa, V.M. (1989). Trace metals in fishes from the Mexicali Valley, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 15(4): 105-115.
- Horowitz, A.J., Elrick, K.A. and Hooper, R.P. (1989). The prediction of aquatic sediment-associated trace element concentrations using selected geochemical factors. *Hydrological Processes*, 3: 347-364.
- Ladd, M.J., Hayes, S.P., Martin, M., Stephenson, M.D., Coale, S.L., Lienfield, J. and Brown, M. (1984). *California State Mussel Watch Report 1981-1983, USA*.
- Lantzy, R.J. and Mackenzie, F.T. (1979). Atmospheric trace metals: Global cycles and assessment of man's impact. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43: 511-525.
- Martin, J.M. and Meybeck, M. (1979). Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Mar. Chem.*, 7: 173-206.
- Martin, M., Ichikawa, G., Goetzl, J., de los Reyes, M. and Stephenson, M.D. (1984). Relationship between physiological stress and trace toxic substance in the bay mussel, *Mytilus edulis*, from San Francisco Bay, Ca. *Mar. Environ. Res.*, 11: 91-110.
- National Bureau of Standards (NBS-USA) (1976). Certificate of Analysis Standard Reference Material 1571.
- Nauen, C. (1983). *Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (1976). Riesgos del ambiente humano para la salud. OPS/OMS Publicación Científica No. 329, pp. 329-359.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (1987). Trace elements in human health and disease: Symposium Report. P. Gradjean (ed.), *Environmental Health*, No. 26, 134 pp.
- Prohic, E. and Kniewald, G. (1987). Heavy metal distribution on recent sediments of the Krka River Estuary: an example of sequential extraction analysis. *Mar. Chem.*, 22: 279-297.
- Salomons, W. and Forstner, U. (1984). *Metals in the Hydrocycle*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 1-349.
- S.A.R.H. (1981). Distrito de riego No. 14, río Colorado. Representación general en el estado de Baja California. México, D.F.
- S.R.H. (1971). Boletín Hidrológico No. 28. Distrito de riego No. 14. Regiones Hidrológicas No. 1 a 7. Baja California I-22-32.
- Simkiss, K., Taylor, M. and Mazon, A.Z. (1982). Metal detoxification and bioaccumulation in molluscs. *Mar. Biol. Lett.*, 3: 187-201.
- Stephenson, M.D., Martin, M., Lange, S.E., Flegal, A.R. and Martin, J.H. (1979). Trace metal concentration in the California mussel, *Mytilus californianus*. *California Mussel Watch 1977-1978*.

Stephenson, M., Smith, D., Ichikawa, G., Goetzl, J., Eastman, S., Manera, M., Bennett, J. and Martin, M. (1985). State Mussel Watch Program. Preliminary Data Report, 1984-1985. California Department of Fish and Game Environmental Services Branch, USA, 100 pp.

Stephenson, M., Smith, D., Ichikawa, G., Goetzl, J. and Martin, M. (1986). State Mussel Watch Program. Preliminary Data Report,

1985-1986. California Department of Fish and Game Environmental Services Branch, 31 pp., VI Appendix.

Taylor, S.R. (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust: A new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28: 1273-1285.

Warren, L.J. (1981). Contamination of sediments by lead, zinc, and cadmium. *Environ. Pollut. (Series B)*, 2: 401-436.