

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



METALES TRAZA
EN MOLUSCOS DEL VALLE DE MEXICALI
Y ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA
GUILLERMO OLGUIN ESPINOZA

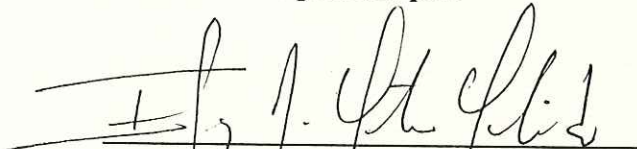
ENSENADA, B. C.

ABRIL DE 1989


**METALES TRAZA EN MOLUSCOS DEL VALLE
DE MEXICALI Y ALTO GOLFO DE CALIFORNIA**

**T E S I S
QUE PRESENTA:
GUILLERMO OLGUIN ESPINOZA**

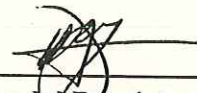
Aprobada por:




**Presidente del Jurado
Dr. Efraín A. Gutiérrez Galindo**




**Sinodal Propietario
Oc. Julio A. Villaescusa Celaya**



**Sinodal Propietario
Oc. Héctor Bustos Serrano**



**Sinodal Suplente
Oc. Francisco Delgadillo Hinojosa**



**Sinodal Suplente
Oc. María Victoria Orozco Borbón**

RESUMEN

Se realizó un estudio para investigar la biodisponibilidad relativa de los metales traza zinc, cobre, manganeso, cadmio, plata, cromo y aluminio en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California con el fin de conocer el estado actual de la calidad química de las aguas de esta zona. Para lograr este propósito se realizaron dos muestreos, el primero en agosto de 1985 y el segundo en febrero de 1986 utilizando la almeja Corbicula fluminea residente del distrito de riego No. 14 del valle agrícola y la almeja Chione californiensis y el mejillón Modiolus capax residentes del Alto Golfo de California. En el Valle de Mexicali se detectaron los metales zinc, cobre, manganeso, plata, aluminio y cromo, el cadmio no se detectó por encontrarse en concentraciones menores del límite de detección en esta zona. Sólo el zinc y el manganeso mostraron diferencias temporales. Se presentaron diferencias geográficas con un patrón de distribución distinto para la mayoría de estos metales, sólo el zinc y el cobre se comportaron de manera similar a nivel geográfico. Las concentraciones de metales detectadas en las 15 estaciones del Valle agrícola se discuten en base a la biodisponibilidad del tóxico. En la zona del Alto Golfo de California la almeja C. californiensis sólo se colectó en una estación proporcionando concentraciones puntuales de los metales. Para M. capax se detectaron el zinc, cobre, manganeso, cadmio (analizado sólo en agosto), plata, aluminio y cromo. En esta zona los metales traza no presentaron diferencias temporales, pero el comportamiento geográfico se detectó de manera similar para el zinc, cobre manganeso y aluminio. La plata y el cromo mantuvieron un comportamiento homogéneo en las tres estaciones del Golfo. Conforme a los niveles de metales traza propuestos por las autoridades de protección ambiental en moluscos bivalvos no presentan riesgo alguno para la salud humana y para la ecología en general, a excepción del cadmio en la parte del Golfo el cual se presentó con $3.84 \mu\text{g/g}$ peso húmedo, estando este valor por encima del propuesto por la FAO que es de $1.0 \mu\text{g/g}$ peso húmedo en moluscos.

DEDICATORIAS

A mis padres: Alfonso y Ana María por su gran apoyo y fé

A mi esposa Connie: Por su compañía, paciencia y confianza

A mi hijo Paul Guillermo: Que con el inicio de su vida nos

muestra cuán bella es.

A mis hermanos: Irma, Alfonso, Rosa María,

Evangelina, José Martín

y Adriana.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo se generó en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, gracias a una beca tesis proporcionada por dicha Institución.

A la Secretaría de Educación Pública por el apoyo económico proporcionado para este trabajo de investigación (Convenio de Apoyo Económico CB5-01-0157 y CB6-01-0425).

Al Dr. Efraín Abraham Gutiérrez Galindo y al profesor Gilberto Flores Muñoz por la acertada dirección de esta tesis.

A mis amigos y compañeros: Dc. Julio Alberto Villaescusa Celaya por su valiosa asesoría en el proceso estadístico, Dc. Martín Francisco Villa Andrade y al Dc. Víctor Manuel Rojas Reynosa por su participación en la colecta de muestras, al igual que la MC. Lucila Láres y al Dc. Alejandro Aguilar que con su compañía y ayuda se logró el acondicionamiento del laboratorio para el análisis de muestras.

A los sinodales Oc. Julio Alberto Villaescusa Celaya, Oc. Hector Bustos Serrano. Oc. Francisco Delgadillo Hinojosa y Oc. María Victoria Orozco Borbón por su participación en la revisión y sugerencias a este trabajo.

A los prestadores de servicio social: PO. Jaime Gonzalez Damián, Josue Portilla Casillas, PO. Norma A. Valle Díaz y Abraham Correa por su magnífica colaboración en el laboratorio durante el análisis de muestras. Y muy en especial al PO. Concepción Cuervo Coss por su participación en el mecanografiado y revisión ortográfica de esta tesis.

A toda persona que de alguna manera participó en el desarrollo de este trabajo.

INDICE

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. MATERIALES Y METODOS	10
2.1 Descripción del área de estudio	10
2.2 Procedimiento de muestreo y análisis químico	14
2.3 Análisis estadístico	19
3. RESULTADOS	21
4. DISCUSION	41
5. CONCLUSION	53
6. LITERATURA CITADA	54

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1.	Area de estudio y estaciones de colecta de <u>C. fluminea</u> en el Valle de Mexicali, Baja California.	11
Figura 2.	Area de estudio y estaciones de colecta de <u>C. californiensis</u> (E16) y <u>M. capax</u> (E17, 18, 19) en el Alto Golfo de California.	13
Figura 3.	Distribución espacial de zinc ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en <u>C. fluminea</u> del Valle de Mexicali.	26
Figura 4.	Distribución espacial de cobre ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en <u>C. fluminea</u> del Valle de Mexicali.	28
Figura 5.	Distribución espacial de manganeso ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en <u>C. fluminea</u> del Valle de Mexicali.	30
Figura 6.	Distribución espacial de plata ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en <u>C. fluminea</u> del Valle de Mexicali.	33
Figura 7.	Distribución espacial del aluminio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en <u>C. fluminea</u> del Valle de Mexicali.	34
Figura 8.	Distribución espacial del cromo ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en <u>C. fluminea</u> del Valle de Mexicali.	36

LISTA DE TABLAS

Pagina

- Tabla I. Localidades de muestreo y especie colectada durante agosto de 1985 y febrero de 1986 en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. 15
- Tabla II. Concentraciones de metales traza ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en estandares analizados para este estudio (IIO) y los proporcionados por la National Bureau of standards (NBS). 18
- Tabla III. Valores promedio ($n=3$), de metales traza ($\mu\text{g/g}$ peso seco), detectados durante agosto en C. fluminea del Valle de Mexicali en C. californiensis y M. capax del Alto Golfo de California. 22
- Tabla IV. Valores promedio ($n=3$), de metales traza ($\mu\text{g/g}$ peso seco), detectados durante febrero en C. fluminea del Valle de Mexicali, en C. californiensis y M. capax del Alto Golfo de California. 23
- Tabla V. Variación geográfica de metales traza en C. fluminea. Las medias de las columnas verticales que presenten letras iguales no son significativamente diferentes ($p>0.05$). 25
- Tabla VI. Aproximación de los límites de detección en $\mu\text{g/g}$ de peso seco, para los metales traza analizados. 31
- Tabla VII. Características biométricas de los organismos colectados en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California durante agosto de 1985 (muestreo I) y febrero de 1986 (muestreo II). 37
- Tabla VIII. Coeficientes de correlación de los metales traza y características biométricas en C. fluminea par agosto de 1985. 38
- Tabla IX. Coeficientes de correlación de los metales traza y características biométricas en C. fluminea para febrero de 1986. 38
- Tabla X. Variación geográfica de metales traza ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en M. capax. Las medias de las columnas verticales que presenten letras iguales no son significativamente diferentes ($p>0.05$). 40

1. 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 fierro) 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 aun más tóxicos a concentraciones menores que los esenciales (Venugopal y Lukey, 1975; Forstner y Prosi, 1978; Forstner y Whitman, 1979).

Los metales traza se encuentran distribuidos en la atmósfera, agua y corteza terrestre. Estos son movilizados tanto por mecanismos naturales (erosión, vulcanismo, combustión de vegetación) como por mecanismos antropogénicos (desechos industriales y domésticos, así como por la utilización de combustibles fósiles) (Lantzy y Mackenzie, 1979).

La contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos ha sido una consideración ambiental desde la

revolución industrial (Vinogradov, 1953, citado por Graney et. al., 1983; Forstner y Whitman, Op. cit.). El interés de investigar los niveles de concentración de metales traza en el medio ambiente, adquiere mayor importancia a partir de las intoxicaciones humanas ocurridas en Japón por mercurio (enfermedad de Minamata) y por cadmio ("ytai ytai"), a principios de 1950 (Tsuchiya, 1969; Yamagata y Shigematsu, 1970, Tokuomi, 1971). Desde entonces se han documentado los efectos de los metales traza sobre la salud humana tales como neurotóxicos (Hg y Pb), osteomalacia (Cd), y otros efectos producidos por el Mn y Ni (OMS, 1976). Recientemente se han reportado otro tipo de enfermedades producidas por estos elementos tales como osteodistrofía (Al), renales (Cd), cancerígenos (Ni, Cr y Cd), efectos inmunológicos (Hg, Ni, Cr). Y degeneración hepatolenticular (Cu) (W.H.O., 1987). Se ha demostrado que los metales traza afectan significativamente la calidad del medio ambiente y la biota a niveles subletales. Scheuhammer(1987), encuentra que concentraciones relativamente bajas de Al, Cd, Hg y Pb pueden causar problemas en la reproducción de las aves. Menciona que conforme se desarrolla la industria alternada con el avance tecnológico se van presentando mayores problemas de contaminación en el ambiente en general.

Numerosas industrias utilizan diferentes metales en la elaboración de sus productos entre las que podemos señalar: Industria eléctrica y electrónica (Cu, Pb, Hg y Se), farmacéutica (Co, Zn, Fe), de pinturas (Cd, Cr, As, Hg, Se y Pb), de colorantes (Cu y Zn), de fotografía (Ag), metalúrgica (Cu, Pb y Ag) y en la formulación de fungicidas (As, Mn, Cu, Zn, Pb y Ag) (Tokuomi, Op. cit.; Fornster y Prosi, Op. cit.).

La literatura señala que el Valle de Mexicali y la parte alta del Golfo de California están siendo impactadas por contaminantes, como los hidrocarburos clorados (Nishikawa, et al., 1971; Guardado-Puentes, 1976; Gutierrez Galindo et al., 1988a y 1988b). Con respecto a la contaminación por metales, hasta el presente no se tiene información disponible, sin embargo, existen varias fuentes potenciales de metales traza al medio acuático del Valle de Mexicali, que sugieren la posible contaminación por este tipo de tóxicos, de las que se destacan las siguientes:

- 1) Metales en solución y suspensión derivados del intemperismo y erosión los cuales son transportados por el agua del río.

2) Los metales procedentes de los subproductos de insumos de la agricultura: fertilizantes y pesticidas (insecticidas, herbicidas y fungicidas).

3) Explotación del Campo Geotérmico de Cerro Prieto.

4) Resuspensión del suelo por el tránsito de automotores por los caminos vecinales de terracería adyacentes a los canales de riego y drenaje.

El agua que se utiliza en la agricultura del Valle de Mexicali proviene principalmente del río Colorado, la cual se distribuye por un sistema de canales de riego junto a este, el valle cuenta con otro sistema de canales de drenaje, el cual capta las aguas de lavado de las tierras. Estas aguas, contienen subproductos de los mismos empleados en la agricultura tales como los fertilizantes y pesticidas entre otros. Una parte de éstas aguas son descargadas al río Hardy y transportadas finalmente al Alto Golfo. Otra porción se descarga en el río Nuevo, el cual las conduce hasta el mar del Salton en E. U. A. Además de lo anterior, Martin y Meybeck (1979), Warren (1981) señalan que los ríos transportan grandes cantidades de metales en solución y en el material particulado. Producto del intemperismo y

erosión de rocas, suelo y detritus orgánico a los que se suman las cantidades antropogénicas. Por tal razón es de suponerse que el río Colorado y las aguas de drenaje, constituyen una fuente potencial importante de metales para la biota acuática del Valle de Mexicali y parte alta del Golfo de California.

Rojas Reynosa (1987) en su estudio para evaluar la contaminación por metales traza en el valle de Mexicali, utilizando a los peces Tilapia sp. y Cyprinus carpio no encontró un patrón geográfico definido en el valle agrícola. El orden de concentración medido para Tilapia sp fué de Zn>Mn>Cu>Cr>Ag y para C. carpio Zn>Mn>Cu, encontrando que el aluminio y el cadmio estuvieron por debajo del límite de detección. Gutierrez-Galindo, et. al., (1988c) estudiando el mercurio en Tilapia sp. y la almeja Corbicula fluminea del mismo valle, encuentran concentraciones relativamente altas de ese elemento en varias localidades distribuidas en la zona de estudio. Principalmente en el río Hardy, en el cual se descargan las aguas residuales de la planta geotérmica de Cerro Prieto. Estos autores sugieren que la existencia de concentraciones anómalas de mercurio están asociadas a un patrón de circulación geotérmico somero.

La parte alta del Golfo de California se ha estudiado principalmente en sus aspectos físicos hidrológicos y biológicos generales (Nishikawa-Kinomura, Op. cit.; Alvarez-Borrego, et. al., 1975; Baumgantner y Cristensen, 1985; Bray, 1988). Existen algunos trabajos referentes a la contaminación por pesticidas organoclorados realizados en el Alto Golfo de California, utilizando a C. californiensis (Guardado-Puentes, Op. cit.) y a M. capax como bioindicadores de contaminación (Gutierrez-Galindo Op. cit.).

La evaluación de la contaminación por metales traza se puede realizar mediante el análisis de agua, sedimentos y organismos. Los niveles de metales traza en agua se encuentran en concentraciones muy bajas (10^{-12} $\mu\text{g/g}$ a 10^{-15} $\mu\text{g/g}$) y presentan una gran variabilidad en el medio. Aunque se han desarrollado metodologías para medir contaminantes ha esos niveles, no son de uso rutinario (Goldberg Op. cit.). Los sedimentos son importantes indicadores de contaminación ambiental por metales traza. Sin embargo estos no están involucrados en procesos biológicos al menos que ocurran cambios químicos importantes en el medio, es decir, no son fácilmente biodisponibles (Breder, 1982).

Phillips (Op. cit.) y Phillips y Segar (Op. cit.) proponen las características que deben tener los organismos para ser utilizados como indicadores biológicos de contaminación. En relación a C. fluminea, especie utilizada en este estudio, no se ha probado que pueda reunir todos los requisitos adecuados para ser un buen indicador. Sin embargo esta especie ya ha sido usada en estudios de vigilancia de metales traza, asumiendo que refleja las concentraciones de metales del medio que habita. Por ejemplo Crane et. al. (1983); Stephenson et. al. (1988) y Abaychi y Mustafa (1988). Estos últimos autores realizaron experimentos de incorporación de metales traza con respecto al tamaño de los organismos y las características del medio acuático.

Existen diversos estudios que demuestran la ventaja de la utilización de organismos marinos como centinelas de la contaminación por metales traza (Goldberg, 1980; Phillips, 1980; Phillips y Segar, 1986), en la actualidad son escasos los estudios concernientes al empleo de organismos dulceacuícolas. Estos indicadores biológicos nos proporcionan un panorama directo de los contaminantes biodisponibles más que de la abundancia total del elemento en el medio ambiente (Phillips y Segar Op. cit.). Los

organismos que con mayor frecuencia se utilizan en estudios de contaminación por metales traza, son los moluscos bivalvos, entre ellos los géneros Mytilus, Crassostrea y Ostrea principalmente, ya que cuentan con una amplia distribución geográfica. El uso de bioindicadores tiene sus desventajas ya que existen factores que provocan variaciones en la biodisponibilidad comparativa del contaminante en el espacio y el tiempo. Dichas variaciones pueden deberse a descargas directas de contaminantes y a cambios estacionales, alternadas con variaciones fisiológicas de los organismos (Grimshaw, et.al., 1976; Boyden, et.al., 1979; Phillips y Segar, Op.cit.).

El estudio de la contaminación por metales traza es de suma importancia en la ecología de países industrializados como lo es E.U.A., Suiza, y otros. En México, son pocos los estudios enfocados a este tipo de contaminación tanto atmosféricos como acuáticos, sobre todo en grandes urbes industrializadas y en regiones agrícolas altamente tecnificadas como lo es la región del Valle de Mexicali en la cual se están desarrollando importantes proyectos de acuacultura y pesquerías así como el gran comercio pesquero y camaronero que tiene la parte alta del Golfo de California.

Debido a ese desarrollo que se esta teniendo en la parte noreste de la península de Baja California y a los escasos estudios de evaluación ambiental sobre esa zona, el presente trabajo fija como objetivo: Estudiar el estado actual que guardan la calidad química de las aguas del distrito de riego del Valle de Mexicali y la desembocadura del río Colorado en el Alto Golfo de California en relación a los metales traza zinc, cobre, manganeso, cadmio, aluminio, plata y cromo. Para tal objetivo se emplearon los bioindicadores C. fluminea o almeja asiática que habita el sistema de riego del Valle de Mexicali. Mientras que para el Alto Golfo de California se utilizó la almeja C. californiensis y el mejillón M. capax. Además se pretende diagnosticar si los niveles de estos metales pueden ser un riesgo para la salud humana y ambiental.

2. MATERIALES Y METODOS.

2.1 Descripción del Area de Estudio.

En el extremo noreste de la península de Baja California ($32^{\circ} 43' N$ y $114^{\circ} 45' W$), se localiza el Valle de Mexicali (figura 1). Posee una forma triangular, dentro del cual circulan gran cantidad de drenes y canales constituyendo estos el sistema de riego del distrito numero 14. Los límites del Valle al norte es la frontera de E.U.A.; al sur con el Golfo de California; al este con el desierto de Sonora y al oeste con la Laguna Salada (Guardado-Puentes, 1976).

Este valle posee una gran fertilidad (principalmente la agricultura), una fisiografía característica y un clima que va de $0^{\circ} C$ en invierno, hasta $44^{\circ} C$ en verano (Sandoval, 1984), lo que permite el desarrollo de pesquerías de importancia alimentaria y comercial. Los vientos dominantes son de dirección noroeste-sureste en los meses comprendidos entre diciembre y abril, de sureste-noroeste entre junio y octubre y calmas en los meses de mayo y noviembre (Nieblas-Ortiz, 1986).

El Valle de Mexicali se considera como una de las zonas agrícolas más importantes del país, con una área de 328 000 has., de éstas 186 000 son áreas de riego, contando con 2 552 km de canales 1 492 km de drenes y 2 422 km de caminos (S. A. R. H., 1981).

Dentro del valle se cuenta con diversas instalaciones: hidráulicas, de energía eléctrica, geotérmica, así como vías telefónicas, las cuales tienen fácil acceso por caminos trazados a lo largo del sistema de riego.

El Alto Golfo de California se localiza en la costa este del estado de Baja California Norte, entre los paralelos $31^{\circ} 47'$ y $28^{\circ} 55' N$ y los meridianos $113^{\circ} 28'$ y $114^{\circ} 42' W$ (S. R. H., 1971) figura 2. Presenta una forma más o menos triangular. El Golfo de California cuenta con una gran variabilidad de temperaturas ambiental con mínimas de $8.25^{\circ} C$ en invierno y $32.58^{\circ} C$ en verano (Alvarez-Borrego et. al., 1975). El Golfo se considera como la región más seca del país, donde la precipitación fluvial no alcanza los 100 mm/año (S. R. H., Op. cit.), la actividad principal es una importante pesca comercial y una pesca ribereña en menor escala.

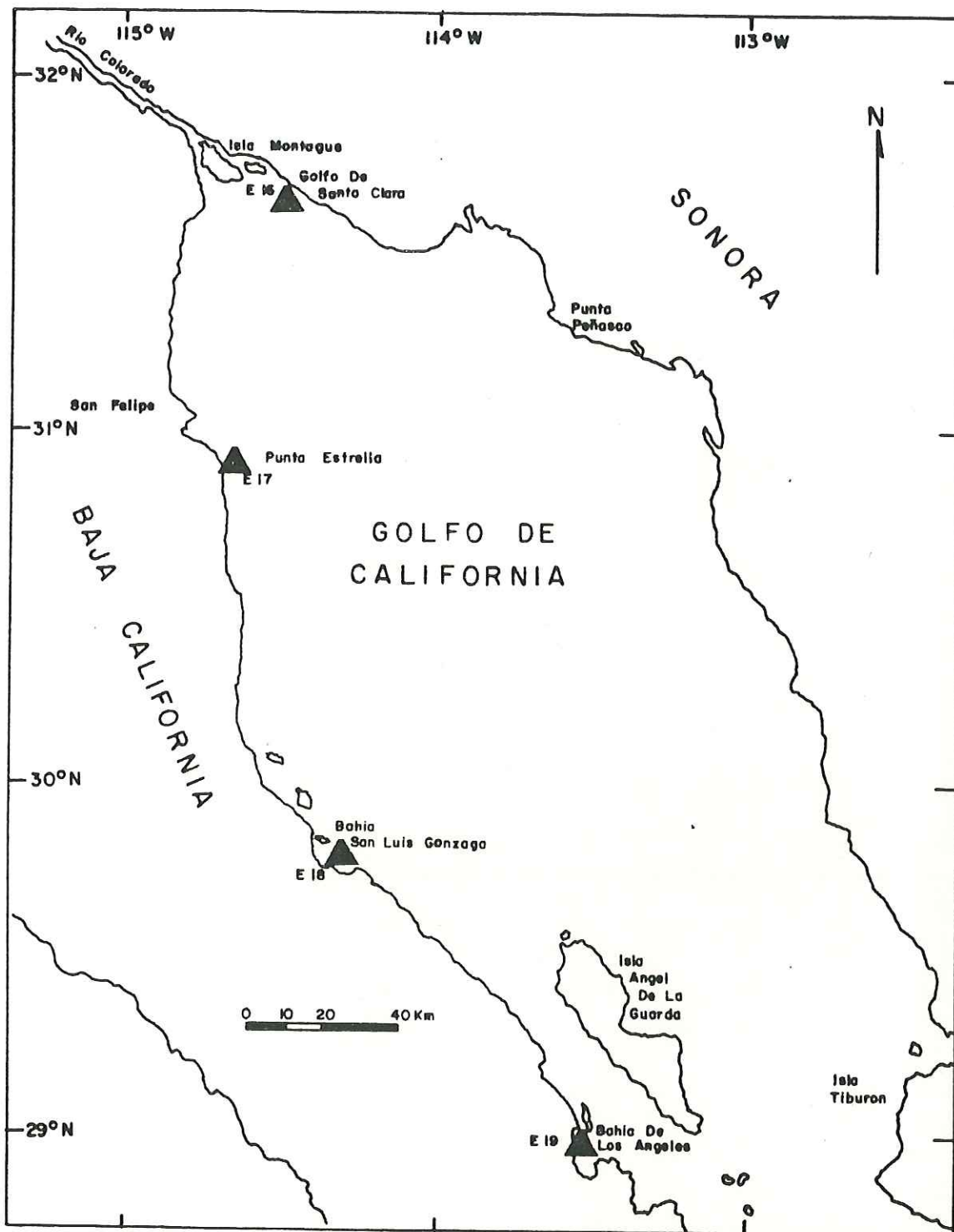


FIG.-2 AREA DE ESTUDIO Y ESTACIONES DE COLECTA DE Ch. californiensis (E 16) Y M. capax (E 17, 18, 19) EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA.

2.2 Procedimiento de muestreo y análisis químico.

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 estratégicamente distribuidas (tabla I y figura 1). Mientras que para el Alto Golfo de California se colectó el mejillón M. capax en tres estaciones de la costa oeste del Golfo y la almeja C. californiensis en una estación en la región norte (tabla I y figura 2).

Las muestras en cada estación fueron colectadas manualmente limpiando la concha de cualquier crecimiento incrustante, arena o lodo colocandolas en bolsas de polietileno con cierre de seguridad, etiquetandolas con: fecha, numero de estación, lugar de colecta y especie. Posteriormente se almacenaron en hieleras de plástico conteniendo hielo seco (CO_2 sólido), se transportaron al laboratorio para los análisis biométricos, químicos e instrumentales correspondientes.

En el laboratorio las muestras fueron descongeladas y lavadas con agua corriente, seguida con agua destilada y finalmente enjuagadas con agua desionizada. Para cada

Tabla I. Localidades de muestreo y especie colectada durante agosto de 1985 y febrero de 1986 en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California.

ESTACION	LUGAR DE COLECTA	ORGANISMO
1	REPRESA EL "CAMPILLO" (*)	<u>Corbicula fluminea</u>
2	CANAL EL ALAMO COL. CUERVITOS	" "
3	CANAL REFORMA REPRESA GALEANA	" "
4	CANAL ALIMENTADOR NORTE, REP. BENASSINI	" "
5	DREN LA MESA EJ. IRAPUATO	" "
6	CANAL REFORMA EJ. ZARAGOZA (*)	" "
7	CANAL REFORMA EJ. SANTA ISABEL	" "
8	CANAL REFORMA COL. CERRO PRIETO	" "
9	CANAL REFORMA EJ. QUINTANA ROO	" "
10	CANAL NVO. DELTA EJ. SONORA	" "
11	CANAL INDEPENDENCIA COL. CARRANZA	" "
12	CANAL DE RIEGO EST. COAHUILA	" "
13	CANAL REVOLUCION COL. ZACATECAS (*)	" "
14	RIO COLORADO EJ. OVIEDO MOTA	" "
15	RIO COLORADO KM. 80	" "
16	GOLFO DE SANTA CLARA SON.	<u>Chione californiensis</u>
17	PUNTA ESTRELLA	<u>Modiolus capax</u>
18	BAHIA DE SAN LUIS GONZAGA	" "
19	BAHIA DE LOS ANGELES	" "

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

estación se obtuvieron tres réplicas de 25 organismos cada una de talla homogénea con el propósito de evitar variabilidad debido al tamaño (edad) de los organismos. Posteriormente se disectaron registrando los pesos individuales de los tejidos blandos (en el caso de M. capax se excluyó el bisco). Tres réplicas de 15 organismos por localidad se homogeneizaron en un virtis modelo 45 equipado con navajas de titanio. de cada réplica se tomó aproximadamente 5 gr. secandolos en un horno a 70°C durante 72 hrs obteniendo el peso seco. El tejido seco se sometió a una digestión con HNO₃ ultrex y oxidando la materia orgánica con H₂O₂. Al resultado de esto se le realizó el análisis de metales, siguiendo la metodología basada en 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 nitroso.

Para conocer la precisión y exactitud de la metodología analítica usada se efectuaron regularmente

análisis de estándares de hojas de hortalizas y de hígado de bovino del National Bureau of Standards (NBS-USA, 1976). En la tabla II se presentan los valores de las concentraciones obtenidas en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) y los valores certificados por la NBS-USA. De manera comparativa se puede observar una similitud entre los valores analizados por las dos instituciones.

Tabla II. Concentraciones de metales traza($\mu\text{g/g p.s}$) en estándares analizados para este estudio(IIO) y los proporcionados por la National Bureau of Standards(NBS-USA).

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

NC=no certificado

NA=no analizado

2.3 Análisis Estadísticos.

Los resultados de las concentraciones de metales traza obtenidas se reportan en $\mu\text{g/g}$ de peso seco.

Para determinar la variación de las características biométricas de los moluscos se calculó el valor promedio (\bar{X}), (talla y peso) la desviación estandar (DE) y el coeficiente de variación (CV) en los datos de los dos muestreos. También se efectuó un análisis de correlación de Pearson (Sokal y Rohlf, 1969), para ver si existe alguna relación entre las concentraciones de los metales traza con respecto a las características biométricas.

Para el primer muestreo se realizó un análisis de varianza paramétrico de una vía (ANVA) para las concentraciones de Zn, Cu y Mn. Durante el segundo muestreo los datos de Zn y Mn se sometieron a un análisis de varianza paramétrico. Debido a que las varianzas no se pudieron estabilizar para el Cu, Al, y Cr se optó por un análisis de varianza no paramétrico (de Kruskal-Wallis). Para determinar el efecto de la época de muestreo sobre la distribución geográfica se realizó un análisis de varianza

de dos vías no paramétrico (Wilson, 1959).

En base a un análisis de una vía no paramétrico se realizó la clasificación "a posteriori" de los metales. Para el caso de los elementos Zn, Cu y Mn se trabajaron los dos muestreos como una sola serie de datos, proporcionando así un rango de concentración de los grupos clasificados, esos rangos se presentan en cada figura. Para los datos del Alto Golfo también se procesaron como una sola serie de concentraciones para todos los metales excepto para el cadmio.

Para procesar los datos se utilizaron los paquetes estadísticos ESIMSL y MINITAB proporcionados por el centro de cálculo del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

3. RESULTADOS.

Valle de Mexicali.

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. Las concentraciones son expresadas en peso seco. Durante agosto el zinc presentó un valor mínimo en el Ej. Irapuato (Est. 5) de $92.88 \mu\text{g/g}$ y un valor máximo de $170.63 \mu\text{g/g}$ en la colonia Zacatecas (Est. 13), con una gran media (promedio de promedios) de $120.43 \mu\text{g/g}$ (tabla III) y una razón máximo/mínimo de 1.8. Durante el segundo muestreo efectuado en febrero el zinc se detectó con una concentración ligeramente mayor a excepción de algunas localidades (Ests. 1 y 13). Presentando un valor mínimo de $120.72 \mu\text{g/g}$ en el río Colorado (Est. 15) y un máximo de $225.65 \mu\text{g/g}$ en el ejido Zaragoza (Est. 6), la gran media calculada fué de $157.34 \mu\text{g/g}$ (tabla IV) y una razón máximo/mínimo de 1.8. De acuerdo al análisis de varianza, las concentraciones de zinc presentaron diferencias temporales y geográficas en concentración a un nivel de significancia ($P < 0.01$). El término interactivo no fué significativo lo cual indica que el patrón de distribución

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

ESTA- CION	Zn	Cu	Mn	Cd	Ag	Al	Cr
<u>Corbicula fluminea.</u>							
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	28.68	22.26	"	"	"	"
9	98.32	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				
<u>Chione californiensis</u>							
16	77.45	13.71	10.50	1.59	0.04	279.56	0.32
<u>Modiolus capax.</u>							
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 en C. fluminea del Valle de Mexicali, en C. californiensis y M. capax del Alto Golfo de California.

ESTACION	Zn	Cu	Mn	Cd	Ag	Al	Cr
<u>Corbicula fluminea.</u>							
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
<u>Chione californiensis.</u>							
16	69.32	12.60	8.46	na	0.04	149.75	0.43
<u>Modiolus capax.</u>							
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

geográfico no varió con el tiempo para este periodo de colecta. La clasificación espacial se realizó uniendo los dos muestreos como una serie de datos sólo para Zn, Cu y Mn y ésta clasificación se presenta en la tabla V. Esquemáticamente la figura 3 muestra de manera general un patrón de concentración de norte a sur, siendo la región norte la de menor concentración, a excepción de la represa El Campillo (Est. 1) y el ejido Zaragoza (Est. 6) que presentaron concentraciones altas. La zona central (Est. 10 y 11) presentó valores medios en la concentración, aumentando al sureste (Est. 13) en la colonia Zacatecas y nuevamente disminuyó al sur (Est. 14). Los intervalos de concentraciones presentados 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" de los metales.

Durante el primer muestreo el cobre presentó un mínimo de 17.19 $\mu\text{g/g}$ en el ejido Irapuato (Est. 5) y un máximo de 60.15 $\mu\text{g/g}$ en la colonia Zacatecas (Est. 13), siendo la gran media de 30.71 $\mu\text{g/g}$ (Tabla III) con una razón máximo/mínimo de 3.5. Para el segundo muestreo el valor mínimo detectado en el Ej. Oviedo Mota (Est. 14) de 20.31 $\mu\text{g/g}$ y el valor máximo observado de 57.97 $\mu\text{g/g}$ en la colonia Zacatecas

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 ($p > 0.05$).

ESTACION	Zn	Cu	Mn	Ag	Al	Cr
ANVA	**	***	***	***	***	**
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 cde	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 $p < 0.001$

(Est. 13) y la gran media de 35.32 $\mu\text{g/g}$ (Tabla IV), la relación máximo/mínimo fué de 2.8. En el cobre no se detectaron diferencias temporales significativas en las concentraciones de ambos muestreos ($p > 0.001$), presentando solo diferencias 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 concentración de norte a sur, obteniendo las concentraciones bajas relativas en el norte, exceptuando la represa El Campillo (Est. 1) y el ejido Zaragoza (Est. 6), las cuales presentaron mayor concentración. En la parte central del valle se localizaron las estaciones con valores medios relativos y al sur volvió a disminuir excepto la colonia Zacatecas (Est. 13) que se detectó con mayor concentración.

Para el manganeso durante Agosto se obtuvo un valor mínimo de 18.20 $\mu\text{g/g}$ en la represa Benassini (Est. 4) y un máximo de 75.17 $\mu\text{g/g}$ en El Campillo (Est. 1) siendo la gran media de 42.13 $\mu\text{g/g}$ (Tabla III) y una razón máximo/mínimo de 4.1. Durante febrero se observó un mínimo de 21.25 $\mu\text{g/g}$ localizado en el Río Colorado (Est. 15) y un valor máximo de 170.87 $\mu\text{g/g}$ en El Campillo (Est. 1), la gran media fué de 69.39 $\mu\text{g/g}$ (Tabla IV), obteniéndose una razón máximo/mínimo

de 8.0. El manganeso mostró diferencias temporales y geográficas significativas ($p < 0.01$). No indicando interacción entre las variaciones temporales y las geográficas, mostrando esto que el patrón de distribución de las concentraciones se mantuvo con el tiempo. Las diferencias geográficas se presentan en la clasificación de la tabla V. En la figura 5 se observa una distribución heterogénea, en general la zona que presentó mayor concentración se detectó al norte del valle y las de menor concentración se observaron en la represa Benassini (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.

El cadmio no se detectó en la zona del valle de Mexicali, aparentemente no hay un aporte significativo de este metal al medio acuático ya que éste elemento está por debajo del límite de detección ($0.01 \mu\text{g/g}$), (Tabla VI).

En febrero la plata presentó un valor mínimo de $0.02 \mu\text{g/g}$ localizado en la represa Galeana (Est. 3), y un valor máximo de $0.55 \mu\text{g/g}$ perteneciente a el Campillo (Est. 1). La gran media fué de $0.13 \mu\text{g/g}$ (Tabla IV), con una razón máximo/mínimo de 27.5. A nivel geográfico se detectaron

Tabla VI . Aproximacion de los limites de deteccion en $\mu\text{g/g}$
de peso seco, para los metales traza analizados.

METAL TRAZA	LIMITE DE DETECCION ($\mu\text{g/g}$)
Aluminio(Al)	0.8
Cadmio(Cd)	0.01
Cobre(Cu)	0.04
Cromo(Cr)	0.03
Manganeso(Mn)	0.08
Plata(Ag)	0.002
Zinc(Zn)	0.4

diferencias significativas ($p < 0.001$) de las concentraciones de plata. La clasificación espacial se muestra en la tabla V y en la figura 6 se observa el esquema de la distribución geográfica, detectándose valores homogéneos en general a excepción del Campillo (Est. 1) y el ejido Zaragoza (Est. 6) las cuales se identifican como dos puntos de alta concentración.

El aluminio presentó en febrero un valor mínimo de 420.02 $\mu\text{g/g}$ en la colonia Zacatecas (Est. 13) y un valor máximo de 2190.6 $\mu\text{g/g}$ en el ejido Zaragoza (Est. 6), siendo la gran media de 914.02 $\mu\text{g/g}$ (Tabla IV), la razón máximo/mínimo fué de 5.21. Se detectaron diferencias espaciales significativas ($p < 0.001$) (Tabla V). La distribución de las concentraciones se observan en la figura 7, presentando en general valores bajos al norte a excepción de la represa Galeana (Est. 3) y el ejido Zaragoza (Est. 6). Los valores medios se presentaron al sur (Ests. 12 y 14) y los valores mayores se detectaron en la zona central (Ests. 10 y 11).

En febrero el cromo presentó un valor mínimo de 0.51 $\mu\text{g/g}$ en el Río Colorado (Est. 15) y el valor máximo de 3.0 $\mu\text{g/g}$ en el ejido Zaragoza (Est. 6), la gran media fué de

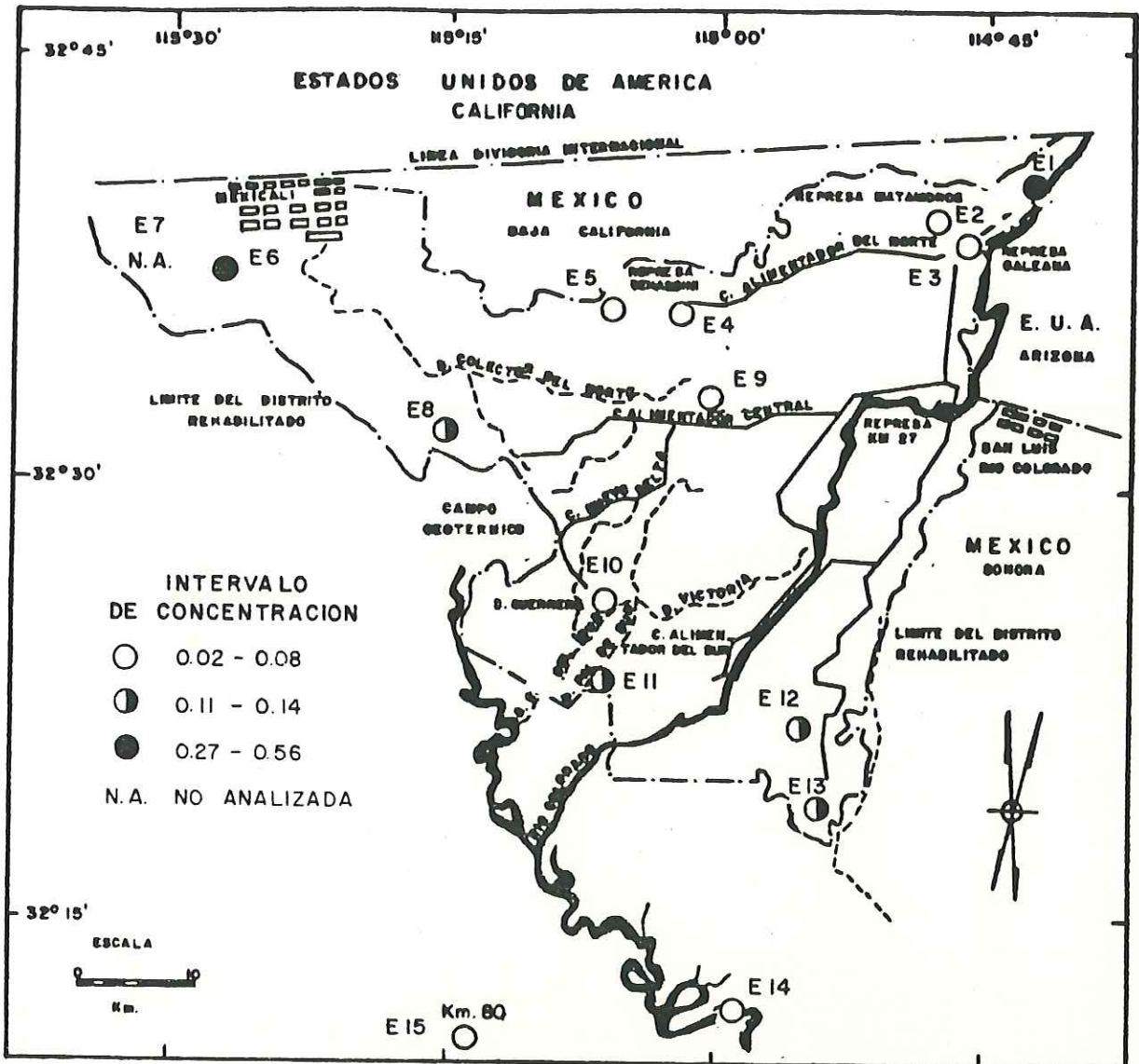


FIGURA 6 - DISTRIBUCION ESPACIAL DE PLATA ($\mu\text{g g}^{-1}$ Peso seco)
EN C. fluminea DEL VALLE DE MEXICALI.

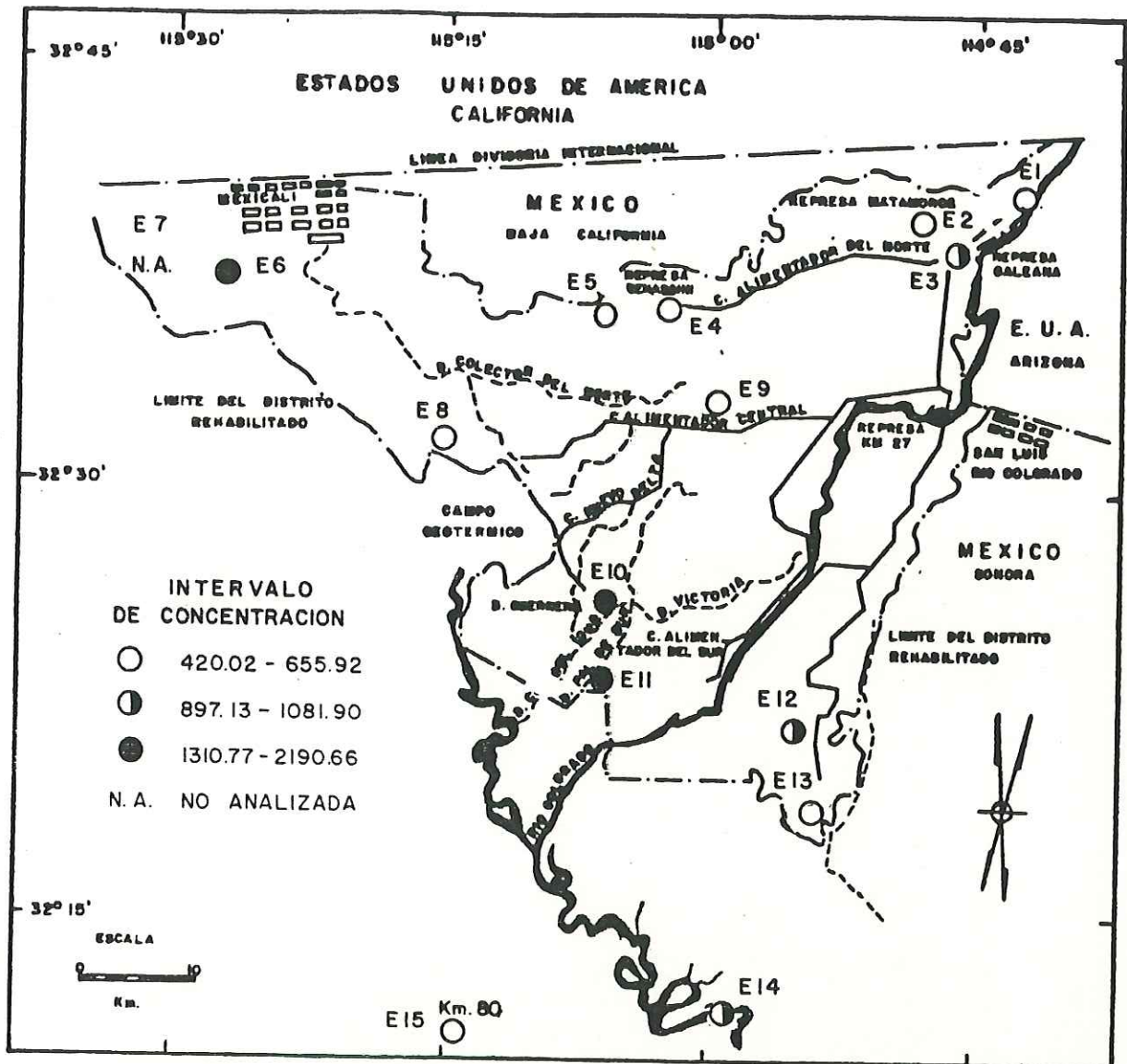


FIGURA 7 - DISTRIBUCION ESPACIAL DE ALUMINIO ($\mu\text{g g}^{-1}$ Peso seco)
EN C. fluminea DEL VALLE DE MEXICALI.

1.72 µg/g (Tabla IV), la razón máximo/mínimo fué de 5.8. Se detectaron diferencias geográficas significativas ($p < 0.01$), la clasificación se muestra en la tabla V. La figura 8 presenta la distribución de las concentraciones de cromo. Localizándose valores altos en la parte central del valle.

En la tabla VII se presentan las características biométricas de los organismos colectados en los dos muestreos cubriendo todas las estaciones del Valle de Mexicali y Alto Golfo de California.

En las tablas VIII y IX se observan los coeficientes de correlación de los metales traza analizados en C. fluminea y sus valores correspondientes para los datos biométricos durante agosto de 1985 y febrero de 1986, respectivamente.

Alto Golfo de California.

Las concentraciones de metales traza detectados en C. californiensis colectada en el Golfo de Santa Clara (Est. 16) y en M. capax colectado en el resto de las

Tabla VII. Características biométricas de los organismos colectados en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California durante agosto de 1985 (muestreo I) y febrero de 1986 (muestreo II)

ESTACION	LONGITUD(mm)		PESO DEL TEJIDO(g)		PESO HUMEDO/PESO SECO	
	I	II	I	II	I	II
<u>Corbicula fluminea.</u>						
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
<u>Chiona californiensis</u>						
16	49.38±2.41	47.40±5.37	5.77±0.91	4.86±1.70	6.65	6.39
<u>Modiolus capax</u>						
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

Tabla VIII. Coeficiente de correlación de los metales traza y características biométricas en *C. fluminea* para agosto de 1985.

	Zn	Cu	Mn	Long	PS	PH
Cu	0.861					
Mn	0.266	-0.018				
Long	-0.144	-0.238	-0.056			
PS	-0.267	-0.309	-0.387	0.608		
PH	-0.208	-0.283	-0.014	0.958	0.575	
PS/PH	0.166	0.228	0.403	0.149	-0.567	0.240

PS = Peso seco $r = 0.532$
 PH = Peso húmedo $P > 0.05$

Tabla IX. Coeficiente de correlación de los metales traza y características biométricas en *C. fluminea* para febrero de 1986.

	Zn	Cu	Mn	Ag	Cr	Al	Long	PS	PH
Cu	0.539								
Mn	0.093	0.346							
Ag	0.195	0.633	0.731						
Cr	0.678	0.405	0.393	0.360					
Al	0.646	0.166	0.036	0.077	0.624				
Long	0.152	0.045	0.235	0.155	-0.208	0.013			
PS	-0.497	-0.567	-0.320	-0.354	-0.707	-0.369	0.531		
PH	-0.173	-0.327	-0.063	-0.187	-0.549	-0.211	0.851	0.869	
PH/PS	0.755	0.698	0.515	0.572	0.602	0.602	0.369	-0.539	-0.108

PS = Peso seco $r = 0.532$
 PH = Peso húmedo $P > 0.05$

localidades del Alto Golfo de California (Ests. 17, 18 y 19), durante agosto de 1985 y en febrero de 1986, se muestran en las tablas III y IV respectivamente.

Para la almeja C. californiensis se presentan valores puntuales 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 ($p > 0.01$). Detectándose diferencias geográficas significativas ($p < 0.001$) para zinc, cobre, manganeso y aluminio. Para estos metales se observó un gradiente de norte a sur en el área estudiada, con valores mayores en Punta Estrella (Est. 17) (Tabla X). Los metales plata y cromo presentaron una distribución geográfica homogénea ($p > 0.05$). El cadmio presentó diferencias geográficas significativas ($p < 0.01$) en agosto, con una mayor concentración relativa en Bahía San Luis Gonzaga (Est. 18), y una menor concentración en Bahía de los Angeles (Est. 19) (Tabla X).

Tabla X. 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 ($p > 0.05$).

ESTACION	Zn	Cu	Mn	Cd	Ag	Al	Cr
ANVA	***	***	***	**	*ns	***	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 $p > 0.05$

** significativo $p < 0.01$

*** significativo $p < 0.001$

4. DISCUSION

Valle de Mexicali.

Las concentraciones de metales traza detectadas para C. fluminea en este estudio muestran de manera general que la secuencia de concentraciones para el Valle de Mexicali fué Zn>Mn>Cu, durante agosto de 1985 (Tabla III), y Al>Zn>Mn>Cu>Cr>Ag en febrero de 1986 (Tabla IV). Martin y Meybeck (1979), reportan que la concentración promedio de metales traza en la carga particulada transportada por los principales ríos del mundo siguen la secuencia Al>Mn>Zn>Cu>Cr>Ag y en particular para los elementos reportados por estos autores en el río Colorado presentan la secuencia Al>Mn>Cr (Martin y Meybeck Op. cit.). Estas similitudes en las secuencias de concentración de metales en la almeja C. fluminea y en las partículas transportadas por los ríos sugiere que los metales proceden de la carga de material particulado. Resultados similares han sido alcanzados por otros autores, Abayachi y Mustafa (1988), trabajando con la misma especie encuentran una alta correlación entre las concentraciones de metales traza en el material particulado (orgánico e inorgánico) y las encontradas en C. fluminea, pero no encuentran una correlación significativa con la fracción disuelta.

Rojas-Reynosa (1987), en su estudio de metales traza en los peces Tilapia sp. y Cuprinus carpio del Valle de Mexicali encuentran básicamente la misma secuencia de concentración excepto que no detecta aluminio, esta diferencia probablemente se deba a que los peces no pueden incorporar fácilmente este elemento al musculo axial, a partir del material particulado. Además estos antecedentes podrían indicar que la biodisponibilidad de metales traza en el Valle de Mexicali esta en función de la carga de material particulado. Material producido por intemperismo y erosión de rocas, suelo y detritus orgánico. Y transportado por el río, así como probablemente por una entrada adicional del mismo por el transporte eólico. Sin embargo, el cadmio que es relativamente más abundante que el cromo y la plata tanto en la corteza terrestre (Taylor, 1964), como en la carga total transportada por los ríos (Martin y Meybeck, Op. cit.), fué encontrado por debajo del límite de detección (0.01 µg/g), en la almeja C. fluminea colectada en esta zona. Comparando con los valores de cadmio (1.0-12.4 µg/g) encontrados en el Lago de San Antonio en el estado de California, E. U. A. (Stephenson et. al., 1985) y los reportados por Abaychi y Mustafa, (1988) en Iraq (11.6 - 53.1 µg/g en peso seco). Esto indica que esta especie sí fija o acumula este metal y el

hecho de que no se detectara cadmio probablemente se relaciona con la forma del elemento el cual no es biodisponible para esta almeja o porque las concentraciones de cadmio son pequeñas en ésta región.

Los resultados de las pruebas estadísticas muestran diferencias geográficas significativas para todos los elementos medidos. En general las razones máximo/mínimo calculadas para cada uno de los elementos indican que la variabilidad geográfica es pequeña ya que esas razones no van más allá de un orden de magnitud, con excepción para la Ag que fué de 27.5. Así la decisión estadística nos muestra que existe poca variabilidad entre las localidades de muestreo. La poca variabilidad observada para los metales esenciales Cu y Zn en términos de la razón máximo/mínimo puede estar asociado a un proceso de regulación metabólica por parte de C. fluminea, lo que no ocurre para los elementos no esenciales.

El Cu, Zn y Mn presentan un comportamiento geográfico muy similar entre ellos, con niveles relativamente altos en la represa el Campillo (Est. 1) en el canal Zaragoza (Est. 6) y en una muestra de la colonia Zacatecas (Est. 13) exceptuando el Mn en ésta última. Estos valores no

representan un enriquecimiento importante para estos metales con respecto a la media regional. Estas variaciones regionales en la concentración de metales posiblemente estén asociadas a factores tales como el tamaño del organismo (Abaychi y Mustafa, Op.cit.), el peso del organismo (Phillips 1980) y las condiciones hidrológicas del medio (Luoma y Phillips, 1988). Pero en nuestras correlaciones no se encontró asociación de esos parámetros biométricos con los metales. Posiblemente esto está relacionado con las condiciones ecológicas de cada lugar de colecta o como lo menciona Gutierrez-Galindo et. al. (1988c) que quizá se debe a una influencia geotermal que altera la biodisponibilidad de estos metales.

Las variaciones geográficas de las concentraciones en términos de la razón máximo/mínimo para Al, Ag y en menor proporción el Cr, son un poco mayores que los metales Cu, Zn y Mn. El Al presentó concentraciones generalmente altas comparadas con estudios similares realizados en el Valle de San Joaquín en California, E.U.A., utilizando a la misma especie (Stephenson et.al., 1985). Esto pudiera deberse a que el río Colorado transporta una mayor cantidad de material particulado. Los niveles relativamente altos de Al, elemento que es transportado casi exclusivamente en la

fracción particulada de los ríos (Martin y Meybeck, Op.cit.) nos indican que posiblemente C. fluminea incorpora cantidades elevadas de metales traza en forma particulada. Este fenómeno coincide con lo planteado por Abaychi y Mustafa (Op. cit.). El Al al igual que el Zn y el Cu presenta concentraciones altas en el canal Reforma del Ej. Zaragoza (Est.6), localidad muy cercana a la ciudad de Mexicali, esto posiblemente se debe a que existe un proceso de movilización importante de metales traza en aquella localidad. Sin embargo esta movilización no ha sido evaluado. El Al fué uno de los elementos más variables geográficamente en el Valle de Mexicali, estas diferencias pueden estar asociadas principalmente a características hidrológicas (material particulado) en cada localidad ó a las diferencias ecológicas de cada estación.

La Ag a excepción de la represa el Campillo (Est.1) y el canal Reforma en el Ej. 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 Est.1 hace que este elemento presente la razón máximo/mínimo más elevada comparada con el resto de los metales. De acuerdo con Taylor (Op. cit.), la plata es un elemento relativamente escaso en la corteza terrestre .

Martin y Meybeck (Op. cit.) reportan que la plata es transportada por los ríos en niveles relativamente bajos. Estos antecedentes pueden explicar las bajas concentraciones de este elemento en C. fluminea de la región. Los valores altos relativos de las estaciones 1 y 6 es probable que se relacionen a una fuente antropogénica aún no determinada.

Las concentraciones de cromo fueron bajas para toda la región examinada. Sin embargo, se observaron algunos puntos de enriquecimiento relativo en la estación Ej. Zaragoza (Est. 6) Ej. Quintana Roo (Est. 9), Ej. 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). Taylor (Op. cit.) menciona que el cromo es el tercer elemento en abundancia de la corteza terrestre. Posiblemente sea esta una razón por la cual el cromo se encuentre distribuido en el Valle agrícola de Mexicali. Martin y Meybeck (Op. cit.) mencionan que algunos metales traza (Cr, Co, Fe, Mn) son menos movilizados que otros de la corteza terrestre. La variación geográfica encontrada posiblemente este asociada a la escasa movilización de este metal y el enriquecimiento relativo de cromo en algunos lugares está relacionado con factores hidrológicos locales o a la existencia de algún

aporte, antropogénico o natural, desconocido.

Las tablas VIII y IX nos muestran los coeficientes de correlación de los metales traza en C. fluminea para ambos muestreos. Se observa una buena correlación entre el Zn y Cu, lo cual sugiere que la disponibilidad de ambos metales para C. fluminea es similar. Durante febrero el aluminio presentó una correlación alta respecto al Zn y al Cr. Considerando que el aluminio es un metal muy abundante en la corteza terrestre (Taylor Op.cit.) así como en la carga transportada por los ríos (Martin y Meybeck, Op.cit.), esto sugiere que el Zn y Cr, al igual que el Al son incorporados en la forma particulada la cual es asimilada por C. fluminea como lo mencionan Abaychi y Mustafa (1988) en sus investigaciones.

Alto Golfo de California.

Chione californiensis colectada en el Golfo de Santa Clara presentó concentraciones ligeramente mayores en agosto de 1985 que en febrero de 1986. Kuenen (1965) (citado por Warren, 1981) menciona que los ríos son la fuente principal de materia sedimentaria a los océanos, depositando la mayor parte de la carga en las zonas

costeras, esto mismo lo confirman Prohic y Kniewald (1987), además 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. Esta almeja presentó una secuencia de concentración de Al>Zn>Cu>Mn>Cd>Cr>Ag, muy similar a la secuencia general observada en el Valle de Mexicali para C. fluminea, lo cual indica la posible influencia del material particulado transportado por el río Colorado hacia el área del Alto Golfo de California.

De los metales traza analizados, el Al fué el elemento que presentó mayor variabilidad entre ambos muestreos. Siendo dos veces mayor en agosto que en febrero, esto puede estar relacionado con 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 estaciones (17, 18 y 19) del Golfo de California (Tablas III y IV), presentaron un gradiente de concentración muy marcado de norte a sur (Tabla X). Encontrándose las concentraciones más altas en

La parte norte (Est. 17) disminuyendo al sur (Est. 19). Esta distribución puede explicarse en base al aporte significativo de material arcilloso (aluvión) conteniendo metales traza, los cuales son transportados por el Río Colorado con mayor influencia en la parte norte del Golfo.

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 señalados por Ladd, et.al. (1984) (1.0 - 9.8 $\mu\text{g/g}$) en el mejillón Mytilus edulis de las costas de California, E.U.A. 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. Martin, et.al. (Op. cit.) al igual que Stephenson, et.al., (Op.cit.) y Lares-Reyes (1988) asocian concentraciones elevadas de cadmio en mejillones de la costa del Pacífico noroccidental a fenómenos de surgencia, mencionandolas como una forma de aporte de este metal a las aguas superficiales. Flores-Muñoz y Gutiérrez-Galindo (1988), estudiaron la variabilidad espacial y temporal de metales traza en la costa del Pacífico, utilizando el mejillón M. californianus, encontrando un gradiente de concentración del cadmio de sur a norte de 1.5 a 2.9 $\mu\text{g/g}$

en el verano, sugiriendo estos valores a una asociación de este elemento con el fenómeno de surgencias. Dacosta Gomez-Bueno y Valle-Díaz, (1987) en un estudio reciente de metales en el Golfo de California sobre la Bahía de San Luis Gonzaga y la Bahía de los Angeles encontraron concentraciones de cadmio con valores ligeramente mayores en el mes de abril (17.99 $\mu\text{g/g}$) y septiembre (14.11 $\mu\text{g/g}$), durante mayo observaron mayor concentración en la Bahía de San Luis Gonzaga (14.42 $\mu\text{g/g}$) que en B. de los Angeles (13.22 $\mu\text{g/g}$), en general observaron un gradiente de sur a norte y descartaron la posibilidad de que las surgencias sean las responsables del aporte de cadmio a las aguas superficiales de ésta zona. Sin embargo atribuyen esas concentraciones a un efecto de mezcla de aguas profundas con las superficiales con origen en las aguas tropicales del Pacífico ecuatorial como lo señala Roden (1958) en Alvarez-Borrego (1975) siendo estas ricas en fosfatos los cuales tienen una alta asociación con el cadmio (Boyle et. al., 1976 y Leres-Reyes, Op. cit.).

Entonces la variabilidad en las concentraciones de cadmio obtenidas en este estudio en M. capax, posiblemente se encuentren asociadas a efectos de mezcla de aguas. La zona de Bahía de los Angeles es una área de mezcla intensa

(Alvarez-Borrego, et. al. Op. cit.), esto mismo pudiera presentarse también en la Bahía de San Luis Gonzaga ya que en esta localidad se encontró un enriquecimiento relativo de cadmio (Est. 18) y aquí no existen industrias o explotación minera que pudiera descargar aguas residuales al medio marino.

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

Yuan-Hui Li, (1981) menciona que después de los años sesentas la introducción de plata al medio ambiente se vio afectada mayormente por fuentes antropogénicas, más que por fuentes naturales. Considerando lo anterior y conociendo que en la región del Alto Golfo de California no existen fuentes antropogénicas importantes que contribuyan al aporte de estos metales al medio, nos hace pensar que esas concentraciones tanto de plata como de cromo están asociadas a fuentes naturales.

La falta de antecedentes de metales traza en esta región no permite realizar un estudio comparativo de nuestros resultados sino solo presentar estos valores como una referencia para estudios posteriores.

En la región estudiada no se presentaron concentraciones de metales traza por encima de los límites permisibles internacionales para el consumo humano de moluscos. Sólo con excepción del cadmio que presentó valores altos ($4.48 \mu\text{g/g}$ de peso humedo) en la zona del Alto Golfo de California en la localidad de Bahía San Luis Gonzaga durante agosto de 1985 siendo 3.48 veces mayor que el límite establecido para bivalvos que son consumidos por el hombre ($\text{Cd } 1.0 \mu\text{g/g}$ de peso humedo) reportado por la FAO, (1983) en Nauen, (1983). Como se discutió anteriormente estos valores de cadmio se atribuyen a procesos de mezcla de aguas en esa región.

5. CONCLUSION

- 1) Se detectaron los metales zinc, cobre, manganeso plata, aluminio y cromo en C. fluminea del valle de Mexicali. El metal cadmio no se detectó en esta almeja, estando por debajo del límite de detección (0.01 µg/g).
- 2) El orden de enriquecimiento en C. fluminea fué de Zn>Mn>Cu durante agosto de 1985, y de Al>Zn>Mn>Cu>Cr>Ag en febrero de 1986, siendo muy similar a la secuencia de la carga particulada de los ríos en general.
- 3) Se encontraron diferencias geográficas significativas para todos los elementos medidos, lo cual puede atribuirse a una distinta biodisponibilidad de los elementos en el valle.
- 4) Se detectaron dos zonas de enriquecimiento relativo Rep. el Campillo (Est. 1) y Ej. Zaragoza (Est. 6) para la mayoría de los metales en esta almeja, la cual pudiera estar asociada a una fuente tanto antropogénica como natural no determinada.
- 5) En la zona del Alto Golfo de California se detectaron los metales Zn, Cu, Mn, Cd, Ag, Al y Cr. El Zn, Cu, Mn, y Al presentaron un gradiente geográfico con mayores concentraciones en la parte norte. El Cd solo se analizó para agosto, este metal no presentó un gradiente definido. Ag y Cr se presentaron de manera homogénea en las tres localidades.
- 6) Las concentraciones de los metales traza analizados en las diferentes especies se encuentran por debajo de los valores establecidos por la FAO, (1983) como una amenaza a la salud humana, con excepción del cadmio.

6. LITERATURA CITADA

- Abaychi J. K. and Y. Z. Mustafa, (1988). The asiatic clam, *Corbicula fluminea*: An indicator of trace metal pollution in the Shatt al_Arab River, Iraq. *Environmental Pollution*. 54:109-122
- Alvarez-Borrego S., L. Galindo-Bect, B. Flores-Baez (1975). Hidrobiología del Alto Golfo de California II. Condiciones durante invierno, primavera y verano. *Ciencias Marinas* 2(1): 21-22.
- Baumgartner, T.R. and N. Christinsen Jr., (1985). coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *Journal of Marine Research*. 43:825-848
- Boyden, C.R., S. R. Aston and L. Thornton, (1979). Tidal and seasonal variations of trace elements in two Cornish estuaries. *Coastl. Mar. Sci.* 9:303-317
- Boyle, E. A., F. Sclater y J. M. Edmon (1976). On the Marine Geochemistry of Cadmium. *Nature*, Vol. 263:42-44.
- Bray, N.A., (1988). Water Mass Formation in the Gulf of California. Submitted to the *Journal of Geophysical Research*. 25 pp.
- Breder, R. (1982). Optimization studies for reliable

- trace metal analysis in sediments by atomic absorption spectrometric methods. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 313:395-402
- Dacosta Gomez-Bueno, C. y N. A. Valle-Díaz (1989). Disponibilidad biológica de metales traza en el mejillón Modiolus capax de la zona norte y central del Golfo de California. U.A.B.C. Facultad de Ciencias Marinas. Tesis en proceso.
- Flores-Muñoz, G. y E. A. Gutiérrez-Galindo, (1988). Metales traza biológicamente disponibles en la costa noroccidental de B.C. (en preparación).
- Forstner U. and F. Prosi, (1978). Heavy Metal Pollution in Freshwater Ecosystems. Institut für Sediment forschung, Universität Heidelberg. R.F. Germany.
- Forstner V. and Whitman, (1979). Metal Pollution in Aquatic Environmental. Springer-Verlag, Germany.
- Goldberg, E.D (ed), (1980). The International Mussel Watch. National Academy of Sciences. Washinton, D.C. 248 pp.
- Graney R. L., Jr. Donald S. Cherry and John Cairns. (1983). Heavy metal indicator potential of the asiatic clam (Corbicula fluminea) in artificial stream systems. *Hidrobiologia.* 102, 81-88.
- Grimshaw, D. L., J. Lewin, R. Fuge, (1976). Seasonal

and short-term variations in the concentration and supply of dissolved zinc to polluted aquatic environment. Environ. Pollut. 11:1-7

Guardado-Puentes, J. (1976). Concentración de DDT y sus metabolitos en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. Rep. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. 18:73-80.

Gutiérrez-Galindo E. A., G. Flores-Muñoz y J. A. Villaescusa-Celaya (1988a). Hidrocarburos Clorados en moluscos del Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. Ciencias Marinas 14(3) 91-113.

Gutiérrez-Galindo E. A., G. Flores-Muñoz, M. F. Villa-Andrade y J. A. Villaescusa-Celaya (1988b). Insecticidas Organoclorados en peces del Valle de Mexicali Baja California, México. Ciencias Marinas 14(4) 1-22.

Gutierrez-Galindo, E. A., G. Flores-Muñoz and A. Aguilar-Flores, (1988c). Mercury in Freshwater Fish and clam from the Cerro Prieto Geothermal Field of Baja California, Mexico. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 41:201-207.

Ladd, M. J., S. P. Hayes, M. Martin, M. D. Stephenson, S. L. Coale, J. Lienfield and M. Brown (1984). California State Mussel Watch Report

1981-1983. U. S. A.

- Lantzy R. J. and F. T. Mackenzie (1979). Atmospheric trace metals: Global cycles and assessment of mans impact. *Geochimical and Cosmochimica Acta*. Vol. 43. pp 511-525.
- Lares-Reyes, L. (1988). Variación temporal de Cadmio y Mercurio Biodisponibles en una Zona de Surgencias Costera. Tesis Maestría en Ciencias. CICESE. 100pp.
- Luoma S. N. and D. J. Phillips, (1988). Distribution Variability and Impacts of Trace Elements in San Francisco Bay. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 19 No. 9: 413-425.
- Martin M., G. Ichikawa, J. Goetzl, M. de los Reyes and M. D. Stephenson (1984). Relationship Between Physiological Stress and Trace Toxic Substance in the Bay Mussel, *Mytilus edulis*, from San Francisco Bay, Ca. *Mar. Environ. Resear.* 11 : 91-110.
- Martin J. H. and J. M. Meybeck, (1979). Enviromental Mass-Balance of Material Carried by Mayor World Rivers. *Marine Chemistry*. 7:173-206
- National Bureau of Standards (NBS-USA) (1976). Certificate of analysis standard reference material 1571.
- Mauen, C. C., (1983). Compilation of legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products Food

and Agriculture Organization of the United Nations.

Nieblas-Ortiz, E. C. (1986). Reubicación del Receptor de desechos agroquímicos y disposición final de los mismos por el método de relleno sanitario en el municipio de Mexicali, B. C. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Biológicas. U. A. B. C. Ensenada, B. C. :116pp.

Nishikawa-Kinomura, K., G. Flores-Muñoz (EDS) (1971). Estudio Químico sobre la concentración de insecticidas organoclorados en organismos de la parte norte del Golfo de California y desembocadura del Río Colorado. Informe final Vol. I y II. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. U. A. B. C. Ensenada B. C., México.

Organización Mundial de la Salud (OMS), (1976). Riesgos del Ambiente Humano para la Salud. (OPS/OMS), No. 329:359pp.

Phillips, H. J. D. (1980). Quantitative aquatic biological indicators. Applied Science Publishers. London. 488 pp.

Phillips, J. H. and D. A. Segar, (1986). Use of Bioindicators in Monitoring Conservative Contaminants: Programme Design Imperatives. Mar. Poll. Bull. Vol. 17, No. 1:10-17

- Prohic, E. and G. Kniewald (1987). Heavy Metal Distribution on Recent Sediments of the KRKA River Estuary an Example of Sequential Extraction Analysis. Mar. Chem.. 22: 279-297.
- Rojas-Reynosa, V.A., (1987). Metales traza en peces Tilapia mossambica y Cuprinus carpio del Valle de Mexicali, Baja California. Tesis U.A.B.C., Ensenada B. C..
- Sandoval, G. C. (1984). Cultivo experimental de la Tilapia zilli en un sistema semicerrado, intensivo en el campo geotérmico de Cerro Prieto Baja California. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C. 70 pp.
- S.A.R.H. (1981). Distrito de riego No. 14, río Colorado. Representación general en el estado de Baja California. México, D.F.
- Scheuhammer, A.M. (1987). The chronic Toxicity of aluminum, cadmium, mercury and lead in birds: A Review. Environ. Pollut. 46:263-295.
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. (1969). Biometry. W. H. Freeman and Co. San Francisco. 831 pp.
- S.R.H. (1971). Boletín Hidrológico No. 28. Distrito de riego No. 14. Regiones Hidrológicas No. 1 a 7. Baja California I-22-32.

- Stephenson K. D., M. Martin, S. E. Lange, A. R. Flegal and J. H. Martin. (1979). Trace metal concentration in the californian mussel, *Mytilus californianus*. California Mussel Watch 1977-1978.
- Stephenson, K., D. Smith, G. Ichikawa, J. Goetzl, S. Eastman, M. Manera, J. Bennett, and M. Martin. (1985). State Mussel Watch Program. Preliminary data report, 1984-1985. California Department of Fish and Game Environmental Service Branch, U.S.A. 100 pp.
- Taylor S. R., (1964). Abundance of Chemical Elements in The Continental Crust: A new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 28:1273-1285.
- Tokuomi, H. (1971). Aspectos médicos de la enfermedad de Minamata. *Tribuna Médica* 376 :18-19.
- Tsuchiya, K. 1969. Causation of ouch-ouch (itai-itai) disease. *Keio J. Med.* 18:181-211.
- Venugopal, B., Luckey, T. D. (1975). Toxicology of non-radioactive heavy metals and their salts. In: *Heavy Metal Toxicity, Safety and Hormology*. Lukey T. D. Venugopal, B. Hutcheson (Eds.). Stuttgart: Thime. 4-73.
- Warren, L. J., (1981). Contamination of Sediments by Lead, Zinc, and Cadmium: A Review. *Environ. Poll.* (series B). 2:401-436.

Wilson, K. V. (1956). A distribution-free test of analysis of variance Hypothesis. Psychol. Bull. 53 :96-101.

World Health Organisation (WHO), (1987). Trace Elements in Human Health and Disease: Symposium Report. P. Gradjean (ed) Environmental Health. 26:134pp

Yamagata, N. and I. Shigematsu. 1970. Cadmium pollution in perspective. Bull. Inst. Publ. Health 19(1):1-27.

Yuan-Hui li, (1981). Geochemical cycles of elements and human perturbation. Geochimica, Cosmochimica. Acta. Vol. 45:2073-2084.