



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Marinas



METALES TRAZA EN PECES Tilapia mossambica y Cyprinus
carpio DEL VALLE DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

T E S I S

Que para obtener el título de:

O C E A N O L O G O

P r e s e n t a :

VICTOR MANUEL ROJAS REYNOSA

ENSENADA , BAJA CALIFORNIA , DICIEMBRE 1987.

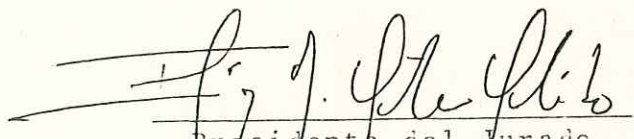
R E S U M E N

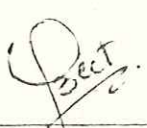
En este trabajo se determinó la concentración de zinc, cobre, cromo, manganeso, cadmio, aluminio y plata en músculo comestible de los peces Tilapia mossambica (mojarra) y Cyprinus carpio (carpa), residentes en el sistema de canales y drenes del Distrito de Riego No. 14 del valle agrícola de Mexicali, B.C. El objetivo de este estudio fue establecer niveles de referencia de estos metales traza en el Valle debido a que se carece de antecedentes de distribución, temporalidad y riesgo para la salud humana por el consumo de estos peces comerciales. Se realizaron muestreos en agosto de 1985 y febrero de 1986 en 17 estaciones distribuidas en la zona. Los resultados señalan que en ambas especies estos metales tienden a una distribución homogénea en el área de estudio. Se observaron diferencias temporales en las concentraciones de zinc y el manganeso. Para T. mossambica los intervalos de concentración fueron: Zinc 20.63-62.49ppm; cobre 1.41-3.81ppm; manganeso 1.49-13.33ppm; cromo 0.14-0.80ppm; plata 0.001-0.009ppm; cadmio y aluminio fueron inferiores al límite de detección (0.001ppm). Para C. carpio los intervalos fueron: Zinc 28.29-98.38ppm; cobre 2.37-6.88ppm y manganeso 3.06-11.29ppm. Ninguna de las muestras de músculo axial presentó niveles superiores a los previstos por la legislación de Salud Pública. Se encontraron órdenes de bioacumulación: Para T. mossambica de Zn>Mn>Cu>Cr>Ag, y para C. carpio de Zn>Mn>Cu. Se registró una relación entre el peso, la talla y el contenido total de los metales detectados. Los niveles de cobre y zinc encontrados son superiores a los reportados para el Valle Imperial (EUA). Las concentraciones de los elementos analizados no reflejan la presencia de una fuente importante de contaminación por estos metales en el sistema de riego del Valle de Mexicali, B.C. La plata fue el único elemento que no registró su nivel máximo en la ubicación del dren en el Ej. Yucatán.

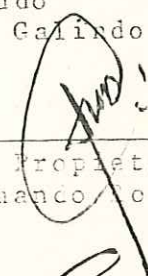
"METALES TRAZA EN PECES Tilapia mossambica y Cyprinus
carpio DEL VALLE DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA"

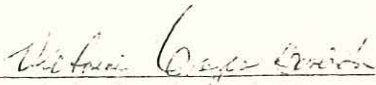
T E S I S
QUE PRESENTA:
VICTOR MANUEL ROJAS REYNOSA

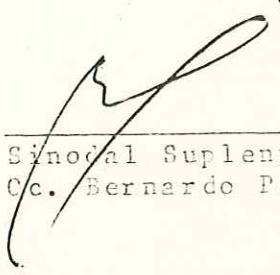
Aprobada por:


Presidente del Jurado
Dr. Efraín A. Gutiérrez Galindo


Sinodal Propietario
Cc. Salvador Galindo Bect


Sinodal Propietario
Ing. Armando Rodríguez Pinal


Sinodal Suplente
Cc. Victoria Orozco Borbón


Sinodal Suplente
Cc. Bernardo P. Flores Báez

DEDICATORIA

A la memoria de Salvador Becerril Monroy

A mis padres:

Miguel y Griselda

A mis hermanos:

Miguel, Aidé, Carlos,
Griselda, Germán, Armando,
Elizabeth e Ileana.

A mis familiares y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California y directivos por permitirme desarrollar este trabajo producto de un proyecto de investigación.

A la Secretaría de Educación Pública por el respaldo económico concedido para la realización de trabajos en el campo de la contaminación marina (C85-01-0157 y C86-01-925).

Al director de esta tesis, Dr. Efraín A. Gutiérrez Galindo, y al profesor Gilberto Flores Muñoz por su amable y acertada orientación para dar forma a este trabajo.

Agradezco a los compañeros Ocean. Julio A. Villaescusa, P.O. Martín Ego. Villa, P.O. Guillermo Olguín y P.O. Guillermo Díaz de Cossio por su apoyo y colaboración durante la realización de esta tesis.

A los oceanólogos: Salvador Galindo Bect, Bernardo P. Flores Baez y Victoria Orozco Borbón, y al Ing. Armando Rodríguez Pinal por sus amables sugerencias, revisión y dirección del examen profesional.

INDICE

	Página
I Introducción.....	1
II Materiales y métodos.....	7
III Resultados.....	14
IV Discusión.....	22
V Conclusiones.....	33
VI Literatura citada.....	34

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla I	Localidades de Colecta de <u>T. mossambica</u> y <u>C. carpio</u> en el Distrito de riego No. 14 del Valle de Mexicali, B.C.....	10
Tabla II	Concentración de metales traza (ug.g-1 de peso seco) en <u>T. mossambica</u> colectada en el Valle de Mexicali, B.C.....	15
Tabla III	Relación promedio de características biométricas de <u>T. mossambica</u>	18
Tabla IV	Concentración de metales traza (ug.g-1 de peso seco) en <u>C. carpio</u> colectado en el Valle de Mexicali, B.C.....	20
Tabla V	Relación promedio de características biométricas de <u>C. carpio</u>	21
Tabla VI	Resultados del análisis de varianza entre lugares y tiempo de colecta para las concentraciones registradas en las cuatro estaciones comunes a los dos muestreos para <u>T. mossambica</u>	25
Tabla VII	Concentración media de metales traza y medias biométricas para <u>T. mossambica</u> y <u>C. carpio</u> colectadas en agosto de 1985 y febrero de 1986.....	27

Tabla VIII	Expresiones de regresión lineal ($Y=a+bx$) y Coeficientes de correlación para <u>T.</u> <u>mossambica</u> que son significativos a un nivel de 0.05.....	29
------------	---	----

Tabla IX	Expresiones de regresión lineal ($Y=a+bx$) y Coeficientes de correlación para <u>C.</u> <u>carpio</u> que son significativos a un nivel de 0.05.....	29
----------	---	----

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1	Area de estudio y ubicación geográfica de las estaciones de muestreo en que se colectaron <u>T. mossambica</u> y <u>C. carpio</u>	8
Figura 2	Relación entre el contenido total de cobre y medidas biométricas de <u>T. mossambica</u>	30
Figura 3	Relación entre el contenido total de manganeso y medidas biométricas de <u>C. carpio</u>	31

INTRODUCCION

La investigación sobre la cinética de los contaminantes en peces se ha extendido y el uso de estos organismos para vigilancia de metales traza y organoclorados ha sido no menos común. La principal razón para este énfasis ha sido indudablemente la importancia económica de los peces de aleta para el hombre, aunque otros factores han jugado un papel importante (Phillips, 1980).

La interrogante de metales traza en peces dulceacuícolas cobró importancia a partir de los años sesentas cuando se detectó contaminación severa por mercurio en Suiza y después en Canadá (Ackefors et al., 1970, citado en Förstner y Wittmann, 1983).

Los iones metálicos usados por sistemas biológicos deben ser abundantes en la naturaleza y estar disponibles en formas solubles. La abundancia generalmente restringe la disponibilidad de aquellos metales cuyo número atómico sea inferior a 40, algunos de los cuales no están disponibles debido a la baja solubilidad de sus hidróxidos e.g., aluminio y titanio (Förstner y Wittmann, 1983). Visto desde el punto de vista de la contaminación ambiental el aluminio es considerado como elemento no crítico de acuerdo a la

clasificación hecha por Wood (1974). El cobre, manganeso y zinc son metales traza esenciales y presumiblemente controlados homeostaticamente (Bowen 1972; Frieden 1972; Cross et al., 1973; Bryan 1976; Giesy y Wiener 1977). Aunque esenciales, Cu y Zn pueden ser tóxicos a concentraciones altas (Skidmore 1964; Black et al., 1976). Los metales traza esenciales tales como el zinc se hacen tóxicos cuando el abastecimiento nutricional es excesivo. Un metal en cantidades traza (menores a 0.01 por ciento de la masa del organismo) es esencial cuando el organismo falla en crecer o completar su ciclo vital en ausencia del mismo. Sin embargo, el mismo elemento es tóxico cuando sus niveles de concentración superan aquellos requeridos para una correcta respuesta nutricional en factores que varían de 40 a 200 veces (Venugopal y Luckey, 1975). Así, para el organismo humano, la dosis hemética de zinc va de 220 a 450 mg (Perrin y Agarwal, 1976). Además de vómito, los síntomas de intoxicación por zinc incluyen deshidratación, desbalance electrolítico, dolor estomacal, náusea, letargo, mareo e incoordinación muscular (Halstead et al., 1974). Por otra parte, la ingestión de cantidades del orden de miligramos de cobre induce vómito y diarrea. La ingestión de varios granos produce ulceraciones de la mucosa gastrointestinal, hemólisis, ictericia, necrosis hepática y daño renal (NAS, 1977).

El manganeso es relativamente no tóxico para la biota acuática y raras veces es un problema en zonas de agua dulce (USEPA 1975, citado en Wiener y Giesy, 1979).

La plata es uno de los elementos no esenciales para la salud humana. Aunque en muy bajas concentraciones es muy tóxica para formas de vida inferiores, para el organismo humano llega a ser tóxica sólo cuando es ingerida en cantidades del orden de un grano por día (Förstner y Wittmann, 1983).

El cadmio es uno de los metales pesados de interés común en contaminación ambiental, principalmente por sus altas propiedades tóxicas, su continua ocurrencia en descargas industriales, y su existencia en aguas naturales como un contaminante con un potencial muy alto (Bowen, 1966, citado en Cearley y Coleman, 1972). En el hombre, la toxicidad crónica asociada con efectos a largo plazo por asimilación de cadmio resulta en dificultad para respirar. Evidencias experimentales sugieren también que el cadmio provoca efectos carcinógenos, teratogénicos, testiculares y cardiovasculares (Smith, 1973; Friberg et al., 1974; Friberg, 1976 y Lorke, 1978, citados en Taylor y Denayo, 1980).

Sobre la base de su sobredisponibilidad y esencialidad

el cromo es uno de los metales traza menos tóxicos. Generalmente, el cuerpo de los mamíferos puede tolerar de 100 a 200 veces su contenido total del cuerpo sin efectos peligrosos (Forstner y Wittmann, 1983).

La literatura menciona que existen numerosas fuentes de efluentes industriales que conducen al enriquecimiento del medio acuático por metales pesados. Los principales usos de varios metales traza económicamente importantes han sido enumerados por Dean et al., (1972). Una inspección de la compilación hecha por estos autores revela que la mayoría de los metales pesados bajo consideración en este estudio son empleados en una diversidad de campos. Entre otros, establece el uso de Cr, Cu, Zn y Cd en la industria petrolera, de fertilizantes y refinamiento básico de acero. El Cr, Zn y Cu en la industria papelera. El Cr, Zn y Cd en la de álcalis, cloruros, - químicos inorgánicos y petroquímicos. El Cr, Cu y Cd en la industria básica no ferrosa, vehículos de motor y aeronaves, vidrio, cemento y asbesto. El Cr y Zn en plantas generadoras de energía a base de vapor. El Cr en la industria textil y peletera, y por último el uso de manganeso en la industria de fertilizantes. Para el caso de la plata; Taylor et al., (1980) destaca los usos de este metal en la elaboración de material fotográfico, productos eléctricos y electrónicos, y soldaduras, entre otros.

Existen diversos estudios que han observado el análisis de la bioacumulación de elementos traza en peces dulceacuícolas: Salvelinus namaycush, Micropterus sp., Lepomis macrochirus, Esox niger, Salvelinus fontinalis, Salmo gairdneri y Cyprinus carpio (Tong et al., 1974; Kelso y Frank, 1974; Atchinson et al, 1977; Giesy y Wiener, 1977; McKim y Benoit, 1974; Benoit, 1975; Buhler et al, 1977; Lucas et al, 1970; Uthe y Bligh, 1971; Hartung, 1974; Mathis y Cummings, 1973 y Potter et al, 1975).

En la región de Mexicali, en 1973 se inició la explotación geotérmica en Cerro Prieto, inicialmente con 75,000 mw, lo que generó salmueras y vapor que incorporan a las lagunas de evaporación y a la atmósfera 22 ton/año de arsénico y 47 kg/año de mercurio, respectivamente (Mercado, 1976).

Antecedentes de estudios de la década pasada muestran que Mexicali y los valles agrícolas colindantes son la fuente más importante de contaminantes agroquímicos en la parte alta del Golfo de California (Nishikawa et al., 1971, Guardado-Puente y Núñez-Esquer, 1975).

En los drenes y canales de riego del Valle de Mexicali, B.C., se desarrollan importantes pesquerías tales como la Tilapia mossambica (Bojerra), Cyprinus carpio (Carpa),

Ictalurus punctatus (Bagre), Micropterus salmoides (Lobina) y Mugil cephalus (Lisa), las cuales son canalizadas al comercio local con fines de consumo humano (Miranda-Meneses, 1982). En 1982 se reportó una captura de 13 y 6 toneladas de Mojarra y Carpa, respectivamente (Estadísticas Generales de Baja California, 1983).

Dada la importancia de la fauna piscícola como alimento humano, y la falta en el país de estudios que contemplen el riesgo que representan los metales traza en contaminación ambiental, el presente trabajo comprende el análisis de Zn, Cu, Cd, Mn, Cr, Ag y Al en el músculo comestible de los peces T. mossambica y de C. carpio. Este estudio proporciona por vez primera un marco de referencia sobre la existencia, distribución y estacionalidad de dichos metales en la zona de estudio. Pretende además, señalar el grado de contaminación por metales traza en las especies en estudio, y por tanto su aptitud para consumo humano, planteando a su vez la asociación posible existente entre el contenido de estos elementos y las medidas biométricas del organismo.

MATERIALES Y METODOS.

Descripción del Area de Estudio.

El Valle de Mexicali, B.C., se localiza en el extremo noreste de la península de Baja California, entre los paralelos $31^{\circ}45'$ y $32^{\circ}45'$ N y los meridianos $114^{\circ}45'$ y $115^{\circ}30'$ W (Fig. 1). Posee forma irregular con límites: al norte con los Estados Unidos de América; al sur con el Golfo de California; al este con el desierto de Sonora; al oeste con la Laguna Salada y al noroeste y suroeste con dos grandes cadenas montañosas (Guardado-Puente y Núñez-Esquer, 1975). Su climatología varía considerablemente de invierno a verano, con rangos de temperatura desde 0°C hasta 44°C , respectivamente (Sandoval, 1964).

Esta región está definida como el distrito de riego No. 14, del río Colorado, que debe mencionarse en lugar importantísimo, pues por derivación de corrientes y algún auxilio dado por bombeo de aguas de subsuelo mediante pozos profundos, se tiene la posibilidad de regar una zona muy amplia de tierras. Este distrito de riego aprovecha los escurrimientos del río Colorado, regularizados por las presas Boulder y Davis (SRR, 1971).

Este valle cuenta con un área dominada de 328,000

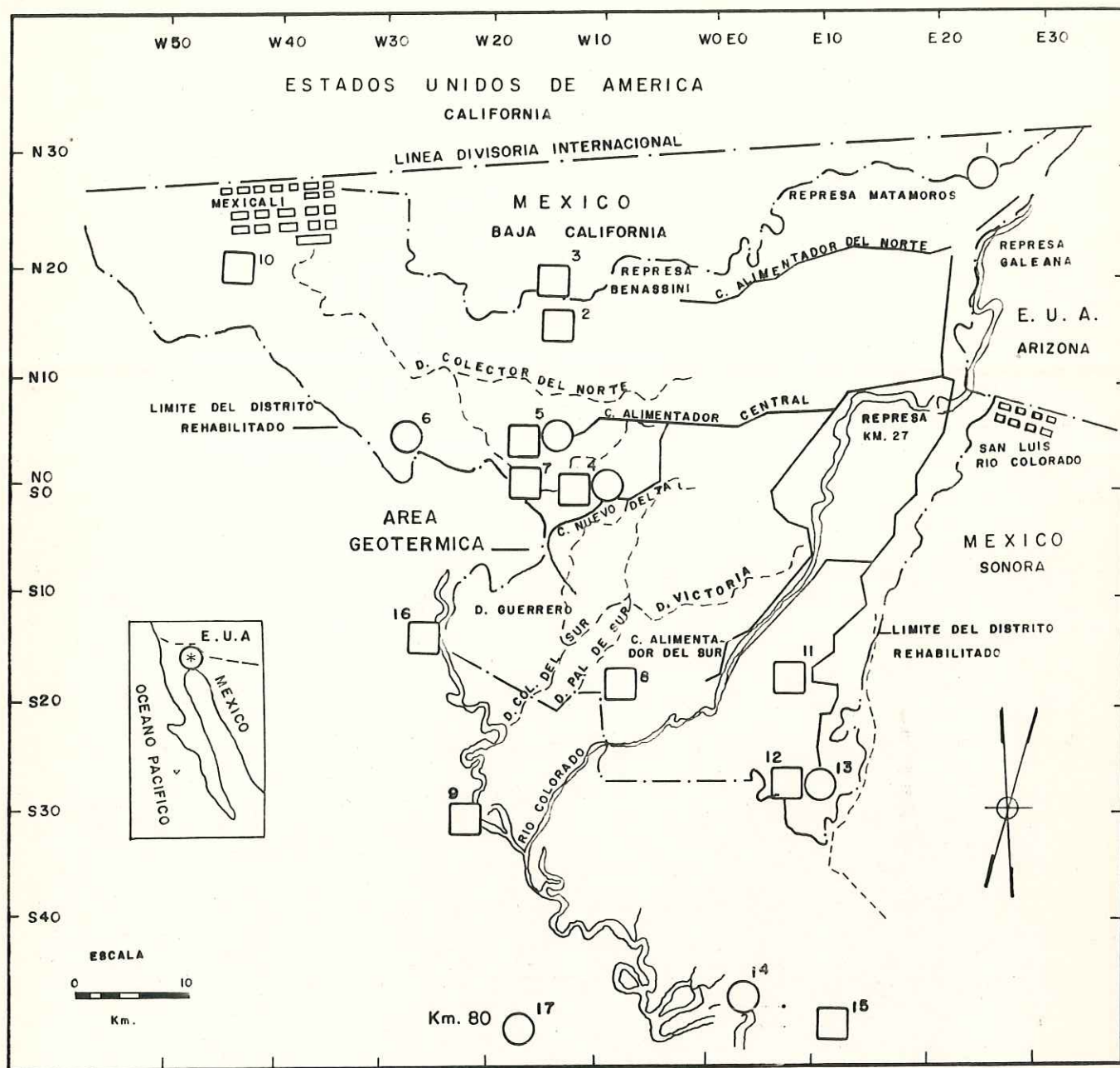


FIG.-I AREA DE ESTUDIO Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN QUE SE COLECTARON T. mossambica □ Y C. carpio ○

hectáreas, de ellas 207,120 son de área regable; 2,552 kilómetros de canales, 1,492 de drenes y 2,422 de caminos (SARH, 1981).

Además cuenta con instalaciones hidráulicas, de energía eléctrica, así como vías telefónicas.

Metodología.

El presente trabajo comprendió dos muestreos, realizados del 12 al 17 de agosto de 1985 y del 5 al 10 de febrero de 1986. La tabla I es una relación de las estaciones de muestreo en que se colectaron T. mossambica y C. carpio en el Valle de Mexicali, B.C.

El método de muestreo consistió en pesca con atarraya, con la premisa de reunir tres especímenes por estación por especie y de talla homogénea. Posteriormente se colocaron los organismos en bolsas de plástico etiquetadas por duplicado, se guardaron en hielo seco para congelamiento y transporte al laboratorio para la realización de análisis biométricos e instrumentales.

Una vez en el laboratorio de Metales Pesados del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC, se

TABLA I.- Localidades de colecta de T. mossambica y C. carpio en el Distrito de riego No. 14 del Valle de Mexicali, B.C.

Estación	Localidad	n	<u>T. mossambica</u>	<u>C. carpio</u>
----------	-----------	---	----------------------	------------------

MUESTREO AGOSTO, 1985.

2	D. Ej. Yucatán	3		
4	D. Ej. Nuevo León	3		
5	D. Ej. Pólvora	3		
7	D. Col. Cerro Prieto	3		0
8	D. Col. Carranza	3		
9	Estacion de Bombeo	3		
12	C. Col. Zacatecas	3		
14	D. Ej. Oviedo Mota	3		0
16	C. Ej. Cucapáh	3		0
17	D. km 80	3		0

MUESTREO FEBRERO, 1986.

1	C. Col. Cuervitos	3		0
2	D. Ej. Yucatán	3		
3	D. La Mesa	3		
4	D. Ej. Nuevo León	3		0
5	D. Ej. Pólvora	3		
6	C. Colo Cerro Prieto	3		0
8	D. Col. Carranza	3		
9	Estación de Bombeo	3		
10	Río Huevo	3		
11	C. Ej. Nuevo León	3		
13	C. Col. Carranza	3		0
14	D. Ej. Oviedo Mota	3		0
15	D. Welton	3		0
17	D. km 80	3		0

D. = Dren de riego.
C. = Canal de riego.

descongeló cada muestra tomándose las medidas biométricas por espécimen y especie para proceder a disectar. El músculo axial de los peces fue disectado con instrumental de acero inoxidable sobre una superficie plástica limpia. Se emplearon guantes de polietileno durante la disección para reducir la superficie de contaminación de las muestras. Después de disectar, las muestras de tejido extraídas fueron colocadas en recipientes previamente descontaminados y se pesaron para luego elaborar un homogeneizado en proporción 1:1 agua-tejido, utilizando un homogeneizador Virtis 45. Del homogeneizado total se extrajeron porciones aproximadas a 5 g para evaporar humedad y obtener una submuestra con peso seco inferior a un gramo. Esta fue sometida a digestión de acuerdo a las recomendaciones de Stephenson et al., (1979). La cuantificación del Zn, Cu, Mn y Cd fue realizada en un espectrofotómetro de absorción atómica IL 251. El Cr y Ag fueron determinados en un Perkin Elmer 603 equipado con un horno de grafito HGA 500. Para el Al se utilizó una flama acetileno-óxido nitroso. Los métodos para limpieza y descontaminación de material de vidrio y plástico son descritos por los mismos autores. La preparación de muestras y procedimientos analíticos fueron evaluados usando estándares de hígado de bovino y hojas de huerto como material de referencia, según lo recomienda la U.S. National Bureau of Standards (NBS). Se efectuó en total el procesamiento de 75 especímenes (48 Mojarras y 27 Carpas).

Los resultados estuvieron dentro del rango de concentraciones dado por la NBS para Zn, Cu, Mn, Ag y Cr. Simultánea a la digestión de muestras se emplearon blancos para determinar algún término correctivo asociado con reactivos o recipientes utilizados. Los blancos no registraron presencia de los metales traza en estudio.

En el procesamiento de datos posterior se hicieron en principio las pruebas Ji-cuadrada y Kolmogorov-Smirnov de ajuste a la distribución normal, utilizándose un nivel de significación al 0.01, previa transformación a logaritmos base diez de los datos en proceso. Se realizó prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett, también al 0.01 de significación. Estos análisis se desarrollaron en cada grupo de datos correspondiente a cada metal y variable biométrica medida; diferenciados en los dos muestreos llevados a cabo. De la misma forma se diferenciaron grupos de datos que integraran únicamente estaciones comunes a uno y otro muestreo para cada especie, a los que se aplicaron las mismas pruebas a un nivel de significación del 0.05 para la prueba Kolmogorov-Smirnov, y 0.05 y 0.01 para homogeneidad de varianzas de Bartlett -la prueba Ji-cuadrada no se aplicó por tener un número de datos menor a 15 (12)-, sin requerirse transformación alguna para probar su normalidad.

Una vez cumplido el requisito de normalidad en cada grupo de datos, en el procesamiento de los mismos mediante estadística paramétrica se efectuaron: Prueba t de student, comparación de medias de dos muestras independientes con varianzas distintas, para evaluar la posibilidad de conjuntar ambos períodos de muestreo en uno solo, simplificando así el tratamiento. Se hizo análisis de varianza de una vía para determinar si la variación de las variables en consideración es mayor entre puntos de colecta que dentro de cada uno de ellos. El análisis de varianza de dos vías se aplicó a los resultados de estaciones comunes a ambas colectas con el fin de establecer la variación causada en los parámetros medidos por efecto del lugar y tiempo de colecta, así como por la interacción de ambos. A través de la clasificación por grupos de Newmann-Keuls, se diferenciaron los puntos de colecta que presentaron concentraciones de los metales traza analizados, las cuales pudieran ser consideradas como conjunto. Por último, se efectuaron correlaciones con la intención de examinar el grado de relación existente entre las variables en examen.

Para aquellas columnas de observaciones que no cumplieron las pruebas de normalidad se hizo el procesamiento mediante estadística no paramétrica; realizándose análisis de varianza no paramétrico (prueba de Kruskal-Wallis) para el metal plata, y correlación de rangos

entre los valores de las variables biométricas y concentraciones de cada metal, con los mismos fines seguidos para los grupos de datos considerados en los análisis de estadística paramétrica. Todos los procedimientos estadísticos fueron aplicados de acuerdo a lo establecido por Sokal y Rohlf (1979).

El procesamiento de datos se realizó utilizando los paquetes estadísticos ESIMSL y MINITAB del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

RESULTADOS

T. mossambica

Los promedios por estación de las concentraciones por espécimen de los cinco metales traza detectados aparecen en la tabla II. Los intervalos de concentración fueron: Zinc 20.63-62.48ppm (Est.3-Est.2); cobre 1.41-3.81ppm (Est.14-Est.2); manganeso 1.49-13.33ppm (Est.11-Est.2); cromo 0.14-0.80ppm (Est.5-Est.2); plata 0.001-0.009ppm

TABLA II.- Concentración de metales pesados ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de peso seco) en *T. mossambica* colectada en el Valle de Mexicali, B.C. Las medias en cada columna vertical con la misma letra no son significativamente diferentes a ($P=0.05$), de acuerdo a la prueba -- Student Newman-Keuls.

	Zn	Cu	Cr	*Ag	Mn	Cd	Al
AGOSTO 1985							
F	4.41	5.71	N.S.	N.S.	11.99		
Estación							
2	24.13ab (2.66)	3.81b (1.37)	0.80 (0.43)	0.004 (0.003)	13.33c (0.809)	-	-
4	30.59b (0.97)	3.51b (0.43)	0.15 (0.03)	0.006 (0.0)	4.33a (0.76)	-	-
5	24.74ab (2.34)	2.64ab (0.46)	0.14 (0.04)	0.006 (0.001)	9.17b (5.20)	-	-
7	26.85ab (4.42)	1.74a (0.18)	0.33 (0.15)	0.007 (0.004)	4.68a (2.31)	-	-
8	22.20a (1.61)	1.62a (0.54)	0.16 (0.03)	0.006 (0.001)	2.31a (0.31)	-	-
9	30.69b (4.85)	1.84a (0.62)	0.40 (0.19)	0.009 (0.002)	7.88a (1.20)	-	-
12	32.03b (0.03)	1.94a (0.25)	0.66 (0.52)	0.005 (0.001)	2.37a (0.06)	-	-
16	24.54ab (3.76)	3.41b (0.59)	0.39 (0.31)	0.006 (0.001)	2.15a (0.43)	-	-
X	26.97	2.56	0.38	0.006	5.78		

F 0.05= 2.66

N.S.= No significativo

* La clasificación de este metal se hizo mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

- = No detectado

Continuación TABLA II.

	Zn	Cu	Cr	*Ag	Mn	Cd	Al
FEBRERO 1986							
F	10.48	3.01	5.28		3.05		
Estación							
2	62.49b (10.4)	3.60c (0.78)	0.22a (0.08)	0.007c (0.001)	4.06ab (0.20)	-	-
3	20.63a (3.78)	1.41a (0.31)	0.12a (0.05)	0.004bc (0.00)	3.43ab (1.77)	-	-
5	33.18a (0.63)	3.34ab (0.29)	0.25a (0.03)	0.002ab (0.001)	6.21b (0.67)	-	-
8	31.40a (9.53)	1.91ab (0.90)	0.14a (0.07)	0.009c (0.005)	3.28ab (0.97)	-	-
9	34.57a (8.92)	1.45a (0.33)	0.63b (0.29)	0.003ab (0.002)	4.13ab (2.01)	-	-
10	27.81a (1.67)	1.72ab (0.12)	0.30a (0.04)	0.001a (0.0)	2.82ab (1.36)	-	-
11	26.42a (3.94)	2.30ab (1.31)	0.22a (0.03)	0.002ab (0.002)	1.49a (0.09)	-	-
15	24.35a (1.94)	1.41a (0.22)	0.33a (0.12)	0.002a (0.001)	2.33ab (0.89)	-	-
X	32.61	2.14	0.277	0.004	3.47		

F 0.05= 2.66

N.S.= No significativo

* La clasificación de este metal se hizo mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

- = No detectado

(Est.10-Est.8). La plata fue el metal más variable y más cercano al límite de detección (0.001ppm).

Los promedios de las características biométricas para esta especie se muestran en la tabla III.

C. carpio

La tabla IV muestra los promedios por estación de las concentraciones por espécimen de los tres metales analizados en esta especie. Los intervalos de concentración fueron: Zinc 28.29-98.38ppm (Est.5-Est.16); manganeso 3.06-11.29ppm (Est.4-Est.5); cobre 2.37-6.88ppm (Est.6-Est.16). El elemento con mayor variación fue el manganeso. Las concentraciones de zinc fueron similares en las nueve estaciones en que se colectó esta especie.

Los promedios por estación de las características biométricas se muestran en la tabla V.

Los peces I. punctatus, M. salmoides, y M. cephalus estuvieron incluidos al inicio de este estudio, mas no se presentan resultados debido a que no fueron colectados en cantidad suficiente para su procesamiento adecuado.

TABLA III.- Relación promedio de características biométricas de T. mossambica.

	Talla [cm]	Peso de músculo [gramos]	Peso total [gramos]	P.H./P.S.
AGOSTO 1985				
Estación				
2	15.3 (3.0)	38.17 (8.75)	85.90 (44.10)	4.82
4	16.67 (0.31)	40.90 (7.99)	132.40 (0.10)	4.83
5	14.20 (0.61)	20.30 (3.29)	69.03 (11.40)	4.31
7	18.03 (3.32)	42.80 (25.0)	132.73 (68.50)	4.26
8	19.37 (1.10)	63.97 (25.1)	228.80 (97.2)	4.63
9	14.20 (0.72)	18.33 (1.46)	58.10 (7.31)	4.89
12	11.77 (0.25)	11.15 (0.95)	36.40 (0.30)	3.67
16	14.80 (0.61)	21.67 (0.25)	75.07 (5.86)	4.23
X	15.79	29.45	102.68	

Continuación TABLA III.

	Talla (cm)	Peso de músculo (gramos)	Peso total (gramos)	P.H./P.S.
<i>FEBRERO</i>				
1986				
Estación				
2	26.50 (1.32)	140.95 (20.80)	446.64 (76.9)	5.058
3	16.70 (1.20)	59.43 (8.32)	137.65 (29.6)	3.758
5	18.17 (2.55)	64.68 (21.9)	144.67 (68.9)	5.164
8	21.00 (0.0)	70.10 (1.74)	213.40 (3.60)	2.992
9	18.83 (0.29)	37.73 (3.89)	130.72 (10.30)	5.450
10	21.77 (3.85)	118.11 (0.67)	392.83 (4.12)	5.442
11	21.07 (0.38)	72.01 (7.30)	169.50 (44.30)	5.406
15	25.73 (1.42)	129.19 (19.9)	347.21 (72.90)	5.117
X	22.22	86.52	247.83	

TABLA IV.- Concentración de metales pesados ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de peso seco) en C. carpio colectado en el Valle de Mexicali, B.C., Las medias en cada columna vertical con la misma letra no son significativamente diferentes -- a [$P=0.05$], de acuerdo a la prueba Student Newman-Keuls.

A G O S T O, 1985				F E B R E R O, 1986			
	Zn	Cu	Mn		Zn	Cu	Mn
F	N.S.	19.37	18.91		N.S.	N.S.	4.85
Estación				Estación			
5	28.30 (5.34)	3.23a (0.6)	11.29b (2.91)	1	92.40 (63.3)	3.38 (2.0)	4.87ab (0.9)
14	87.09 (34.1)	2.10a (0.3)	4.44a (0.3)	4	50.45 (13.9)	3.18 (0.8)	3.06a (1.5)
17	77.02 (40.0)	6.88b (1.6)	3.01a (0.9)	6	88.15 (34.5)	2.37 (0.4)	5.13ab (0.3)
X	64.20	4.07	6.25	13	61.58 (33.1)	3.19 (0.01)	8.17b (2.4)
				14	45.01 (36.3)	2.56 (0.2)	6.50ab (0.8)
				17	98.38 (58.9)	3.37 (1.1)	4.41ab (1.5)
				X	72.67	3.01	5.36

TABLA V.- Relación promedio de características biométricas -
de C. carpio.

	Talla [cm]	Peso de músculo [g]	Peso total [g]	P.H./P.S.*
AGOSTO				
1985				
Estación				
5	15.17 (1.62)	22.27 (8.78)	70.90 (27.80)	5.242
14	18.03 (0.72)	29.33 (3.23)	100.93 (13.10)	5.972
17	21.37 (1.96)	35.83 (8.53)	130.43 (31.60)	5.245
X	18.19	29.44	100.75	
FEBRERO				
1986				
Estación				
1	20.27 (2.11)	78.04 (23.3)	199.26 (53.10)	5.333
4	25.07 (8.9)	85.78 (51.8)	319.96 (224.0)	4.619
6	22.07 (0.7)	55.22 (3.43)	166.22 (5.68)	6.158
13	26.77 (0.75)	118.65 (10.3)	349.20 (22.3)	5.204
14	15.67 (1.53)	38.88 (19.1)	78.66 (20.4)	5.277
17	20.43 (0.51)	35.83 (8.53)	130.43 (31.6)	7.055
X	21.71	75.22	213.74	

* Peso húmedo/Peso seco.

DISCUSION

Diferencias geográficas

La distribución de las concentraciones de los metales traza detectados en los peces analizados en el Valle de Mexicali (tablas II y IV), muestra que en cada muestreo hubo grupos de concentración que indican diferencias geográficas.

En las mismas tablas se observa que cada especie presenta semejanzas en la concentración de metales en localidades distintas, lo cual sugiere que los elementos analizados estuvieron biodisponibles en cantidades similares. Tal señalamiento coincide con la similitud que guardan los órdenes de bioacumulación encontrados, para T. mossambica $Zn > Mn > Cu > Cr > Ag$ y para C. carpio $Zn > Mn > Cu$. El aluminio y cadmio fueron inferiores al límite de detección (0.001ppm), lo que puede estar asociado a particularidades de la zona, la especie o del metal e.g., la baja solubilidad de los hidróxidos de aluminio y cadmio (Förstner y Wittmann, 1983). Además, en el caso del cadmio los niveles pueden ser consecuencia del efecto protector que presenta el zinc debido a un antagonismo hacia el cadmio en mamíferos y peces, según los resultados obtenidos por Smith (1973) y Carty et al, (1976).

Una comparación geográfica entre las concentraciones de zinc y cobre detectadas en C. carpio en este estudio muestra niveles cuatro y diez veces superiores a los registrados por Watkins et al., (1985) en el vecino Valle Imperial (EUA) para la misma especie. Debe señalarse que la estimación hecha por este autor consideró organismos con características biométricas superiores (Long. Media 50.4cm y peso total 2644g) a la totalidad de los especímenes analizados en este estudio. Los niveles de zinc fueron inferiores a la media nacional de EUA, reportada por Love et al., (1985) en carpa común (63.4 ug.g-1 de peso húmedo).

Para T. mossambica la falta de antecedentes hizo imposible establecer una comparación representativa que ubique los niveles detectados en este estudio con respecto de otras áreas geográficas vecinas.

Diferencias Temporales

Tanto en T. mossambica como en C. carpio la comparación entre las medias de concentración por metal para uno y otro muestreo indica que ambas colectas podrían conjuntarse como una sola. Sin embargo, en T. mossambica el análisis de varianza entre tiempo y lugar de colecta para las cuatro estaciones comunes (2, 5, 8, y 9) mostró diferencias

temporales para el zinc y el manganeso (tabla VI). El mismo análisis reveló que tanto en esos dos metales como en las medidas biométricas influyó más el tiempo que el lugar de colecta. Este fenómeno podría explicarse por las diferencias en la talla que muestran los peces colectados en ambos muestreos. Phillips (1980), sugiere una dilución de la concentración de metales pesados en organismos acuáticos en el período de verano en que el crecimiento es rápido y un aumento posterior de estos elementos en invierno, cuando el crecimiento es lento, lo cual es contrario a la relación encontrada en este estudio en que a mayor talla del organismo se registró una mayor concentración de zinc.

Phillips (1980), establece que los parámetros que determinan las fluctuaciones estacionales en los niveles de metales traza en biota acuática son: La cantidad del metal introducida en el ambiente acuático (y la dilución asociada de las aguas contaminadas por las aguas recibidas), los cambios de peso que ocurren en el organismo y los efectos directos de salinidad, temperatura y otras características del agua que alteran la estacionalidad. De ahí que en el caso del Valle de Mexicali la estacionalidad asociada al cultivo agrícola y la reconocida existencia de metales traza en agroquímicos, además del carácter migratorio de los peces pueden ser de importancia en las variaciones temporales de los metales traza en estos organismos.

TABLA VI.- Resultados del análisis de varianza entre lugar y tiempo de colecta para las concentraciones registradas en las cuatro estaciones comunes a los dos muestreos para T. mossambica.

Fuente de variación			
	Lugar	Período de colecta.	
	(L)	(P)	(L x P)
Zinc	6.58x	27.44x	7.61x
Cobre	10.82x	0.11n.s.	0.68n.s.
Cromo	6.01x	0.57n.s.	4.77x
Plata	2.06n.s.	1.85n.s.	6.92x
Manganeso	9.25x	19.49x	6.17x
P. M.	21.42x	54.19x	13.29x
P.T.	15.44x	32.71x	14.40x
Talla	14.75x	70.78x	10.39x

$x = P @ 0.05$

$F_{3,16} 0.05 = 3.24$

$F_{1,16} 0.05 = 4.49$

n.s. = no significativo

P.M. = Peso de músculo

P.T. = Peso total

Relación entre concentración, contenido de
metales y características biométricas.

Phillips (1980), establece la generalización de que en organismos acuáticos los metales diferentes del mercurio comúnmente exhiben concentraciones mayores en individuos menores o pequeños, cuyo crecimiento es acompañado por disminución en sus niveles de metales traza. El caso de T. mossambica y C. carpio del Valle de Mexicali, B.C., no manifiesta concordancia con lo anterior. La similitud encontrada entre las concentraciones podría ser evidencia del mecanismo fisiológico de regulación de la concentración de metales sugerido por diversos autores, entre otros: Lucas et al, (1970); Uthe y Bligh (1971); Giesy y Wiener (1977) y Wiener y Giesy (1978). O bien, refleja la homogeneidad en la distribución geográfica de estos elementos. En este trabajo (tabla VII) se encontró que los especímenes de T. mossambica con mayor tamaño presentaron concentraciones altas de zinc y cobre en el dren del Ej. Yucatán (Est. 2). Además, esa localidad registró los niveles más altos de zinc, manganeso, cobre y cromo en ambos muestreos, lo cual indica que los peces colectados en la Est. 2 estuvieron expuestos a cantidades mayores de esos metales en comparación al resto de los organismos analizados.

TABLA VII.- Concentración media de metales traza y medias biométricas para T. mossambica y C. carpio colectadas en agosto de 1985 y febrero de 1986.

Especie	Zn (μ g)	Cu (g)	Cr (-1 de peso seco)	Ag	Mn	Talla (cm)	P.H. (g)	P.T. (g)
AGOSTO 1985								
Hojarra	26.97	2.56	0.38	0.006	5.76	15.79	29.45	102.68
Carpa	64.20	4.07	6.25	N.A.	N.A.	18.19	29.44	100.75
FEBRERO 1986								
Hojarra	32.61	2.14	0.277	0.004	3.47	22.22	86.52	247.83
Carpa	72.67	3.01	5.36	N.A.	N.A.	21.71	75.22	213.74
N.A. = No Analizado.								

Las relaciones entre el contenido total de los metales traza detectados en T. mossambica y C. carpio mostraron que peces de mayor tamaño contienen cantidades mayores de estos elementos. Las tablas VIII y IX muestran las relaciones que registró el contenido de cada metal en cada especie. Las figuras 2 y 3 son un ejemplo de estas relaciones.

Hay que señalar que la evaluación del contenido total de metales fue en base a la cantidad de músculo axial en el organismo. Así, por baja que fuese la concentración el contenido del metal en el pez aumentaría de acuerdo a su tamaño.

Implicaciones para la Salud Pública

Las concentraciones de los metales pesados detectados en las dos especies examinadas, aunque fueron tres veces inferiores a los niveles permitidos por la legislación de Salud Pública, merecen una revisión de las consecuencias a corto, mediano y largo plazo que ocasionaría la ingestión continua de estos peces dado que se habla de una captura anual en el Valle de Mexicali de 13 y 6 toneladas de T. mossambica y C. carpio, respectivamente (Estadísticas Generales de Baja California, 1983). Por otra parte, la característica de que un porcentaje de la cantidad de

TABLA VIII.- Expresiones de regresión lineal ($Y = a + bx$) y Coeficientes de correlación para T. mossan-
bica que son significativos a un nivel de 0.05.

		Contenido: Peso de Musc.		Contenido: Long.	
METAL	N	Expresión	Coef. Correl. (r)	Expresión	Coef. Correl. (r)
Zn	48	$Y = -1.09 + 0.0822x$	0.85	$Y = -0.141 + 0.009x$	0.76
Mn	48	$Y = -0.052 + 0.005x$	0.64	$Y = -0.0017 + 0.0005x$	0.46
Cu	48	$Y = -0.005 + 0.0005x$	0.83	$Y = 0.0002 + 0.0001x$	0.72
Cr	48	$Y = -0.03 + 0.0044x$	0.69	$Y = 0.0142 + 0.00006x$	0.58
Ag	48	$Y = -0.0001 + 0.0x$	0.58	$Y = 0.0 + 0.0x$	0.62

TABLA IX.- Expresiones de regresión lineal ($Y = a + bx$) y Coeficientes de correlación para C. car-
pío que son significativos a un nivel de 0.05.

		Contenido: Peso de Musc.		Contenido: Long.	
METAL	N	Expresión	Coef. Correl. (r)	Expresión	Coef. Correl. (r)
Zn	27	$Y = -0.066 + 0.005x$	0.67	$Y = -0.0019 + 0.0006x$	0.65
Cu	27	$Y = -0.762 + 0.072x$	0.83	$Y = 0.129 + 0.01x$	0.86
Mn	27	$Y = -0.101 + 0.008x$	0.82	$Y = -0.0192 + 0.0014x$	0.63

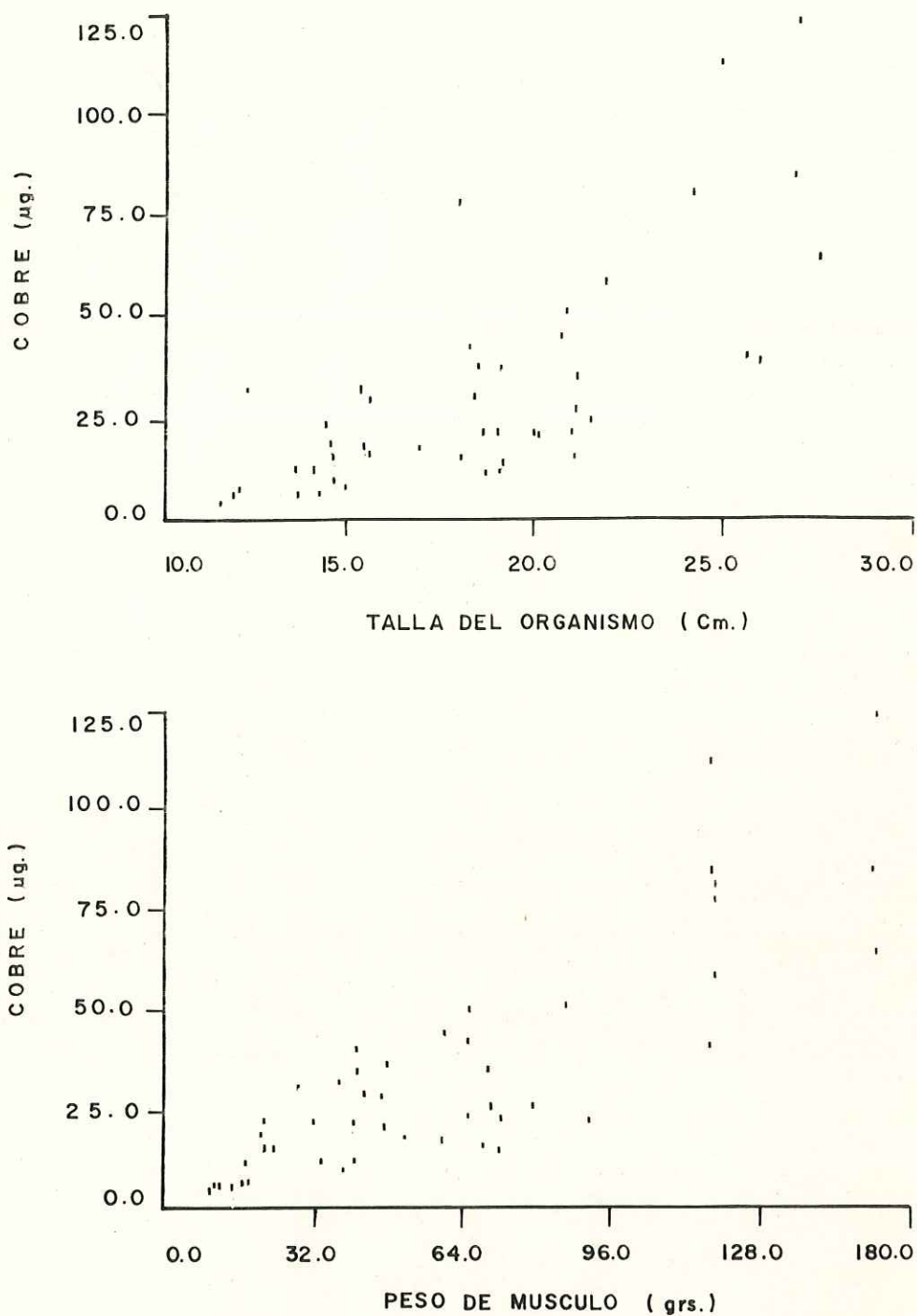


FIG. 2 RELACION DEL CONTENIDO TOTAL DE COBRE POR ESPECIMEN RESPECTO A LA TALLA Y PESO DE MUSCULO EN MOJARRA.

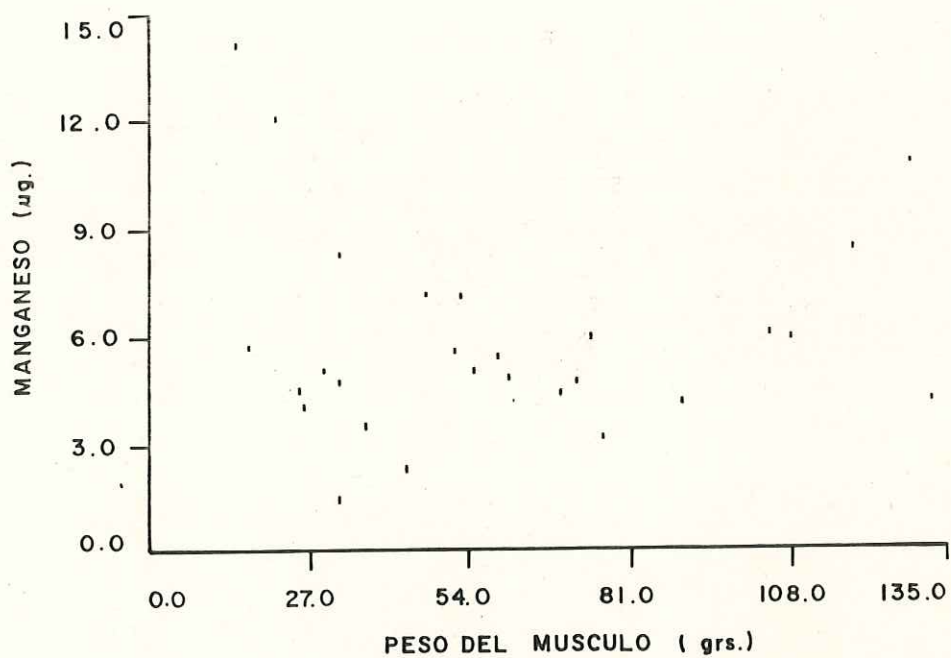
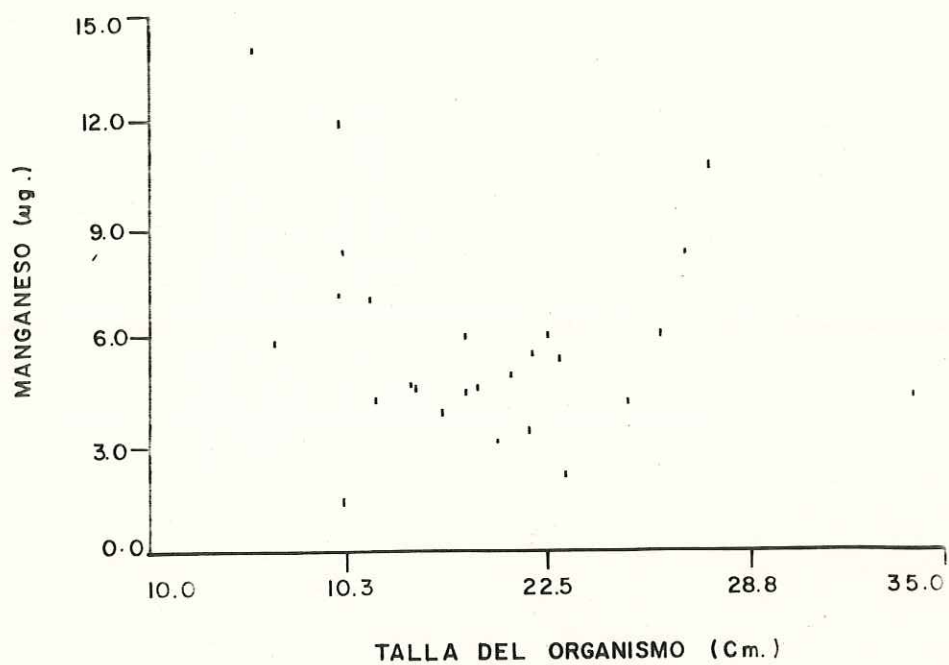


FIG. 3 RELACION DEL CONTENIDO TOTAL DE MANGANESO POR ESPECIMEN RESPECTO A LA TALLA Y PESO DE MUSCULO EN CARPA.

metales traza ingeridos es acumulada por el organismo humano es importante en este aspecto e.g., 0.04 de la plata absorbida es retenida en los tejidos del organismo (Klein, 1978), un promedio de 0.5 del cobre ingerido en forma oral es retenido (NAS, 1977; Tipton et al, 1966); cerca de 0.4 del zinc introducido al organismo es almacenado por un adulto (WHO, 1978). Esto sobresale para metales como la plata, que no es requerida para el desarrollo de las funciones fisiológicas del organismo humano (Klein, 1978). Jernelov y Lann (1971), mencionan que el aumento absoluto de metales pesados en músculo de peces contaminados es comunmente menor que en otros órganos. Por consecuencia; la musculatura sólo se enriquecerá por metales pesados cuando la contaminación sea extremadamente alta. Hay que considerar el hecho de que en el presente trabajo se analizó la concentración de metales traza en músculo axial de los peces colectados, lo que representa de manera parcial el peligro de la explotación comercial de la pesquería en el valle agrícola de Mexicali.

CONCLUSIONES

La distribución de las concentraciones de los metales traza analizados en los peces T. mossambica y C. carpio muestra la existencia de diferencias geográficas en el Valle de Mexicali, B.C. Sin embargo, los resultados no indican un patrón geográfico definido en el área. Los niveles de zinc y cobre detectados en C. carpio fueron de cuatro a diez veces superiores a los reportados por diversos autores para el vecino Valle agrícola de Imperial, E.U.A. Para T. mossambica se encontró un orden de bioacumulación de $Zn > Mn > Cu > Cr > Ag$, y para C. carpio $Zn > Mn > Cu$. En general, para ambas especies, la comparación entre las medias de concentración de los metales estudiados para los dos muestreos realizados (agosto 1985 y febrero 1986), indican la no existencia de diferencias temporales. La relación entre la talla y el contenido total de los metales traza detectados en Mojarra mostró que peces de mayor tamaño contienen cantidades mayores de estos elementos.

Las concentraciones de los metales traza detectados en ambas especies fueron tres veces inferiores a los niveles permitidos por la legislación de Salud Pública.

LITERATURA CITADA

Atchinson, G.J., B.R. Murphy, W.E. Bishop, A.W. McIntosh and R.A. Mayes. 1977. Trace element contamination of bluegill (Lepomis macrochirus) from two Indiana Lakes. Trans. Amer. Fish. Soc. 106 (6):637-40.

Benoit, D.A. 1975. Chronic effects of copper on survival, growth and reproduction of bluegill (Lepomis macrochirus). Trans. Amer. Fish. Soc. 104 (2): 353-8.

Black, G.A.P., D.J. Hinton, H.C. Johnston and J.B. Sprague. 1976. Annotated list of copper concentrations found harmful to aquatic organisms. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 603:44p.

Bowen, H.J.M. 1972. The biochemistry of trace elements, p. 393-405. In Nuclear activation techniques in the life sciences. Int. Atomic Energy Agency, Vienna.

Bryan, G.W. 1976. Some aspects of heavy metal tolerance in aquatic organisms, p. 7-34. In A.P.M. Lockwood (ed.)

Effects of pollutants on aquatic organisms. Cambridge Univ. Press, London.

Buhler, D.R., R.M. Stokes and R.S. Caldwell. 1977. Tissue accumulation and enzymatic effects of hexavalent chromium in rainbow trout (Salmo gairdneri). J. Fish. Res. Bd. Canada. 34: 9-18.

Garty, A.J., N.J. Taylor and Y.S. Wong. 1976. The binding of heavy metals (mercury and cadmium) at biologically important sites. Univ. Waterloo Res. Inst. Proj. No. 3002-2. Final Report.

Cearley J.E. and R.L. Coleman. 1972. Cadmium Toxicity and Bioconcentration in Largemouth Bass and Bluegill. Environ. Poll. and Toxicol.

Cross, F.A., L.M. Hardy, N.Y. Jones, and R.T. Barber. 1973. Relation between total body weight and concentrations of manganese, iron, copper, zinc and mercury in the white muscle of bluefish (Pomatomus saltatrix) and a bathyl-demersal fish Antinora rostrata. J. Fish. Res. Board Can. 30: 1287-1291.

Dean, J.G., Bosqui, F.L., and Lanovette, V.R. 1972. Removing heavy metals from waste water. Environ. Sci.

Technol. 6: 518-522.

Estadísticas Generales de Baja California. 1983. Comité de planeación para el desarrollo del Estado de Baja California, 311p.

Förstner U. and G.T.W. Wittmann. 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag, Germany. 486 p.

Frieden, E. 1972. The chemical elements of life. Sci. Am. 227: 52-60.

Giesy, J.P.Jr., and J.G. Wiener. 1977. Frequency distributions of trace metal concentrations in five fishes. Trans. Am. Fish. Soc. 106: 393-403.

Guardado-Puente, J. y O. Núñez-Esquer. 1975. Concentración de DDT y sus metabolitos en especies filtroalimentadoras y sedimento en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. Tesis Profesional. UABC-ESCM. Ensenada, B.C. México.

Halstead, J.A., J.C. Smith, Jr., and M.I. Irwin. 1974. A conspectus of research on zinc requirements of man. J. Nutr. 104 (3): 345-378.

Hartung, R. 1974. The role of food chains in the lower Mississippi. Proc. Int. Conf. Persist. Chem. Aquatic Ecosyst., Ottawa, I-93-98.

Jernelov, A., and H. Lann. 1971. Mercury accumulation in food chains. Oikos 22: 403-406.

Kelso, J.R.M., and R. Frank. 1974. Organochlorine residues mercury, copper and cadmium in yellow perch, white bass and smallmouth, Long Point Bay, Lake Erie. Trans. Amer. Fish. Soc. 103: 577-81.

Klein, D.A. 1978. Effects on humans. In: Environmental Impacts of Artificial Ice Nucleating Agents. Edited by Donald A. Klein. Published by Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania: 169-175.

Lowe, T.P., T.W. May, W.G. Brumbaugh, and D.A. Kane. 1985. National Contaminant Biomonitoring Program: Concentrations of Seven Elements in Freshwater Fish, 1978-1981. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 14, 363-386.

Lucas, H.F., D.N. Edgington and P.J. Colby. 1970. Concentrations of trace elements in Great Lakes fishes. J. Fish. Res. Bd. Canada. 27: 677-84.

Mathis, B.J., and T.F. Cummings. 1973. Selected metals in sediments, water and biota in the Illinois River.

McKim, J.M. and D.A. Benoit. 1974. Duration of toxicity tests for establishing 'no effect' concentrations for copper with brook trout (Salvelinus fontinalis). J. Fish. Res. Bd. Canada. 31: 449-52.

Miranda-Meneses, V.M. 1982. Impacto ecológico por el uso de insecticidas en el Valle de Mexicali, B.C. Tesis Profesional, UABC. Escuela Superior de Ciencias Agrícolas. Mexicali, B.C. México.

NAS. 1977. Copper. Medical and Biological Effects of Environmental Pollutants. Division of Medical Sciences, Nat. Acad. Sci., Washington, D.C.

Nishikawa, K.K., Flores y Angulo. 1971. Estudio Químico sobre la concentración de Insecticidas Organoclorados en Organismos de la parte Norte del Golfo de California y Desembocadura del Río Colorado. Reporte a la Dirección de Acuacultura S.R.H. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C.

Perrin, D.D., and K.P. Agarwal. 1976. Metal induced toxicity and chelation therapy. In: Introduction to

Bio-Inorganic Chemistry. Edited by David R. Williams.
Published by Charles C. Thomas, Springfield, Illinois:
361-389. J.W.P.C.F. 47: 962-975.

Phillips, D.J. 1980. Quantitative Aquatic Biological
Indicators. Applied Science Publishers LTD, London.

Potter, L., Kidd, D., Standiford, D. 1975. Mercury Levels
in lake Powell: Bioamplification of man-made desert
reservoir. Environ. Sci. Technol. 9, 41-46.

Sandoval, G.C. 1984. Cultivo experimental de Tilapia zilli
en un sistema semicerrado intensivo en el campo
geotérmico de Cerro Prieto, B.C. Tesis Profesional.
UABC-ESCM.

SARE. 1981. Distrito de Riego No. 14, Río Colorado.
Representación General en el Estado de Baja California,
México.

Skidmore, J.F. 1964. Toxicity of zinc compounds to aquatic
animals, with special reference to fish. Quart. Rev.
Biol. 39: 227-248.

Smith, Roger H. 1973. Mechanisms of biological action.
In: Cadmium the Dissipated Element. Edited by William

Fulkerson and H.E. Goeller. ORNL-NSF Ep. 21, Oak Ridge National Lab., Tenn., pp. 278-322.

Sokal, R., y J. Rohlf. 1979. Biometría: principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. H. Blume. Argentina. 832 p.

SRH. 1971. Boletín Hidrológico No. 28. Distrito de riego No. 14. Regiones Hidrológicas No. 1 a 7. Baja California I-22-32, México, D.F.

Stephenson, D.M., M. Martin, S.E. Lange, A.R. Flegal, H.J. Martin, 1979. Trace metal concentrations in the California mussel Mytilus californianus. Water Quality Monitoring Report, Vol. II, No. 70-22, pp. 1-102.

Taylor, M.C., and A. Demayo. 1980. Guidelines for Surface Water Quality. Vol. 1. Inorganic Chemical Substances. Cadmium. Ottawa, Canada. 19 p.

Taylor, M.C., A. Demayo and S. Reeder. 1980. Guidelines for Surface Water Quality. Vol. 1. Inorganic Chemical Substances. Silver. Ottawa, Canada. 12 p.

Tipton, I.V., P.L. Stewart and P.G. Martin. 1966. Trace elements in diets and excreta. Health Phys. 12 (12):

1683-1689.

Tong, S.S.C., W.D. Youngs, W.H. Gutanmann and D.J. Lisk.
1974. Trace metals in Lake Cayuga Lake Trout
(Salvelinus namaycush) in relation to age. J. Fish.
Res. Bd. Canada. 31: 236-9.

Uthe, J.G. and E.G. Bligh. 1971. Preliminary survey of
heavy metal contamination of Canadian freshwater fish.
J. Fish. Res. Bd. Canada. 28: 786-8.

Venugopal, B., and T.D. Luckey. 1975. Toxicology of
nonradioactive heavy metals and their salts. In:
Heavy Metal Toxicity, Safety and Hormonology. Luckey,
T.D., Venugopal, B., Hutchenson, D(eds). Stuttgart:
Thieme 1975: 4-73.

Watkins, D., C. Reiner, D. Crane, R., Seto W., and S.
Baumgartner. 1985. Toxic Substances Monitoring
Program; Data Report. California Department of Fish
and Game. Environmental Service Branch, USA. 159 p.

WHO. 1978. How trace elements in water contribute to
health. WHO Chronicle, 32(10): 382-385.

Wiener, J.G. and J.P. Giesy. 1979. Concentrations of Cd,

Cu, Mn, Pb and Zn in fishes in a highly organic softwater pond. J. Fish. Res. Bd. Canada. 36: 270-9.

Wood, J.M. 1974. Biological cycles for toxic elements in the environment. Science 183: 1049-1052.