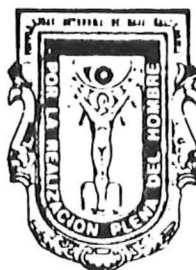


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



Contaminación por Mercurio en Organismos Acuáticos
Aledaños a la Zona Geotérmica Cerro Prieto del
Valle de Mexicali, Baja California.

Tesis que para
obtener el título
de Oceanólogo
Presenta

Alejandro Edgardo Aguilar Flores

Ensenada, Baja California, junio de 1987.

A G R A D E C I M I E N T O S

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la -
Universidad Autónoma de Baja California, a su Director M.C.
Román Lizárraga Arciniéga y a la Secretaría de Educación --
Pública contratos (C 85-01-0157 y C 86-01-925) por el apoyo
a esta investigación.

Al Director de esta tesis Dr. Efraín Gutiérrez -----
Galindo y al Profesor Gilberto Flores Muñoz por sus ideas.

Agradezco a todos los compañeros, que de alguna forma
ayudaron a la realización de este trabajo, Julio Villaescusa
Guillermo Olguín, Lucila Lares, Víctor Rojas, Martin Villa
y Lazaro Guerrero.

A los sinodales, Oc. María Victoria Orozco, Oc. -----
Francisco Delgadillo Hinojosa, Oc. José Antonio Segovia ---
Zavala y Oc. Bernardo Flores Baez, que revisaron el escrito
y dirigieron el examen profesional.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

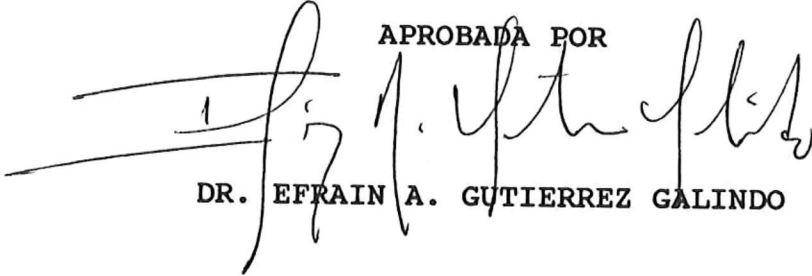
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS


CONTAMINACION POR MERCURIO EN PECES Y
MOLUSCOS ALEDAÑOS A LA ZONA GEOTERMICA CERRO
PRIETO DEL VALLE DE MEXICALI,
BAJA CALIFORNIA"


TESIS QUE PRESENTA

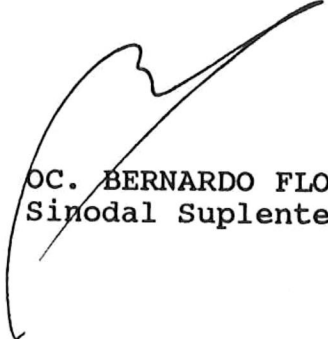
ALEJANDRO EDGARDO AGUILAR FLORES

APROBADA POR


DR. EFRAIN A. GUTIERREZ GALINDO


OC. VICTORIA OROZCO BORBON
Sinodal Propietario


OC. FRANCISCO DELGADILLO HINOJOSA
Sinodal Propietario


OC. BERNARDO FLORES BAEZ
Sinodal Suplente


OC. JOSE A. SEGOVIA ZAVALA
Sinodal Suplente

R E S U M E N

En 1985 y 1986 se realizó un estudio para determinar la distribución geográfica y el grado de contaminación por mercurio que presenta el Valle de Ixcapalli. Para tal propósito, se examinó al pez comercial Tilapia Mossambica y a la almeja Corbicula fluminea residentes en los arroyos y canales del distrito de riego de este valle agrícola. Colectas adicionales de T. Mossambica fueron realizadas en el río Nancy. Los resultados son consistentes en mostrar una mayor contaminación por mercurio en organismos adyacentes a la planta geotérmica que en organismos alejados a dicha planta. Esta diferencia geográfica en la concentración de este elemento en la biota analizada son atribuidas a la biodisponibilidad del tóxico. Para T. Mossambica se muestra la tendencia entre el contenido de mercurio total y talla y peso del pez. Se sugiere que las altas concentraciones detectadas en la almeja C. fluminea en localidades alejadas a Cerro Prieto pueden estar asociadas a la existencia de anomalías geotérmicas. Los valores en las almejas fueron mayores (λ 0.11 μg g peso seco) con respecto a las detectadas en los peces (λ 0.05 μg g peso seco). Sin embargo, ninguno de los organismos excedieron al límite de tolerancia aceptado para consumo humano.

DEDICATORIA

A todos aquellos que trabajan
por preservar la salud
de la humanidad

A mis queridos padres
Carlos y Cheny
que me lo han dado todo

A G R A D E C I M I E N T O S

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas, a su director M.C. Román Lizarraga Arciniega y a la Secretaría de Educación Pública por el apoyo a esta investigación.

Al director de esta tesis Dr. Efraín Gutiérrez Galindo y al profesor Gilberto Flores Muñoz por sus ideas.

Agradesco a todos los compañeros, que de alguna forma ayudaron a la realización de este trabajo, Julio Villaescusa, Guillermo Olguín, Lucila Lares, Víctor Rojas, Martín Villa, Lázaro Guerrero.

A los sinodales Victoria Orozco, Francisco Delgadillo, José Segovia y Bernardo Flores que revisaron el escrito y dirigieron el examen profesional.

I N D I C E

	PAGINA
1	INTRODUCCION - - - - - 1
2	MATERIALES Y METODOS - - - - - 5
	2.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO - - 5
	2.2 METODOLOGIA - - - - - 7
	2.3 ANALISIS ESTADISTICOS - - - - - 8
3	RESULTADOS - - - - - 10
4	DISCUSION - - - - - 17
5	CONCLUSIONES - - - - - 23
6	LITERATURA CITADA - - - - - 24

LISTA DE TABLAS

TABLA I Valores promedio de longitud (cm), peso húmedo, peso seco (g) y concentración de mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$ base peso seco) en el músculo comestible del pez T. mossambica. - - - - - 11

TABLA II Variación geográfica de las concentraciones de mercurio biológicamente disponible en T. mossambica y C. fluminea en el Distrito No. 14 del Valle de Mexicali, B.C. Los resultados se presentan en $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco. Las medias en cada columna vertical con la misma letra no son significativamente a ($P > 0.05$), de acuerdo a la prueba de Student Newman Keuls. - - - - - 13

TABLA III Valores promedio de longitud (mm), peso húmedo, peso seco (g) y concentración de mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$ base peso seco) en la alevija C. fluminea. - - - - - 15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Planta geotérmica Cerro Prieto y estaciones de muestreo de T. mossambica y C. fluminea, en el Valle de Mexicali, Baja California, México - - - - - 6

Figura 2 Relación entre peso y talla de T. mossambica y el contenido total de mercurio - - - - - 14

Figura 3 Relación de las fallas existentes en el valle de Mexicali con las concentraciones anómalas de mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) en T. mossambica (0.08-0.14) y en C. fluminea (0.15-0.32) - - - - - 20

INTRODUCCION

Recientes reportes han expresado preocupación por el peligro que representa la contaminación ambiental, por emisiones de mercurio en áreas geotérmicas naturales y en explotación de Hawaii, Nueva Zelanda e Islandia (Weissberg y Zobel, 1973, Siegel y Siegel, 1975, Rowson et al., 1977). Se tiene conocimiento que el vapor endógeno utilizado para la producción de energía eléctrica contiene cantidades significantes de mercurio volátil (Marcado, 1976). El mercurio inorgánico descargado por estas fuentes puede acumularse en los sedimentos de los ríos, lagos y después mediante un proceso de metilación microbiológica puede ser concentrado como metil mercurio en el tejido de peces (Weissberg y Zobel op cit.).

En la región del valle agrícola de Mexicali, Baja California, México a partir de 1973 se inició la explotación geotérmica en Cerro Prieto, inicialmente con 75 Mega Watts (MW). De acuerdo a la descripción de Marcado (1977), la planta geotérmica en aquel entonces era alimentada por vapor extraído de 15 pozos con profundidad media de 1300 m, produciendo una mezcla de agua y vapor. Dicha mezcla era separada por centrifugación. El vapor era enviado a la planta de generación y el agua se transportaba a la laguna de evaporación con una extensión de 8 km² donde una parte

se evaporaba por acción solar y el excedente se descargaba al río Hardy. Este río conduce agua de dren del Distrito de Riego del Valle de Mexicali y según antecedentes, Mercado (op cit.), a partir de 1975 se iniciaron descargas controladas de 200 l s provenientes de la laguna de evaporación, tendiendo a aumentar estas descargas en la medida en que se aumente la capacidad de generación eléctrica.

Un trabajo desarrollado en Cerro Prieto por Robertson (op cit.), menciona que la forma principal del mercurio volátil fue mercurio elemental (Hg^0), teniéndose también vapores de cloruro mercuríco, cloruro metil-mercuríco y dimetilmercuríco. En su trabajo estiman para la generación de 75 MW un excelente balance de masa de mercurio en Cerro Prieto. Del total del mercurio (6.1 g h^{-1}) que entra a la planta, una parte es mercurio condensable (3.8 g h^{-1}) y la otra es no condensable (2.3 g h^{-1}), del mercurio que sale de la planta 6.8 g h^{-1} la mayoría (5.4 g h^{-1}) se va a la atmósfera por la torre de enfriamiento, y el restante (1.4 g h^{-1}) es liberado a través del sistema de eyectores con los gases no condensables. Alrededor de 0.6 g h^{-1} es descargado en la laguna de evaporación. Calculando 7.4 g h^{-1} como descarga total de la planta. concluyen que existe una emisión de mercurio a la atmósfera de $2.2 \text{ g MW}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Otro trabajo, Mercado, (1976), indica que la planta de 75 MW generó

salmueras y vapor, que incorporó a la atmósfera y a la laguna de evaporación 47 kg/año de mercurio.

Actualmente no existen antecedentes que establezcan el grado de contaminación por mercurio en organismos acuáticos del Valle de Mexicali, máximo que en este valle se realiza la explotación comercial de Tilapia mossambica que es destinada al mercado local para consumo humano. En 1982, se reportó una captura de 13 toneladas de T. mossambica (Dist. Gen. B.C., 1983). Evidencias experimentales, muestran una relación directa entre las concentraciones de mercurio en peces y aguas contaminadas. Hasselrot (1969), señala que el salmón expuesto a aguas contaminadas acumula 20 veces más mercurio que en aguas no contaminadas. Weissberg y Lobel (op cit.) , encontraron concentraciones de mercurio en la trucha del río Mailato, Nueva Zelanda superiores al nivel permitido para consumo humano, 0.5 ppm, Pan American Health Organization (PAHO), 1973. Mencionan que parte de esta contaminación proviene de aguas termales naturales.

Debido a la movilización potencial de mercurio en el Valle de Mexicali y a la proyección del gobierno de generar 510 MW para 1987 en el desarrollo geotérmico Cerro Prieto, en este trabajo se determinó la distribución geográfica y el grado de contaminación por mercurio que presenta este valle. Para tal propósito se examinó al pez T. mossambica y a la

4

almeja C. fluminea residentes en los drenes y canales del Distrito de Riego No. 14 de este valle. Colectas adicionales de L. mosambicana fueron realizadas en el río Maray. Este estudio está enfocado principalmente a las descargas de vapor de agua de la planta geotérmica, caracterizadas por su contenido de mercurio y su posible biodisponibilidad en la biota del lugar.

Se pretende además, generar información de referencia relevante al nivel de contaminación de las especies examinadas y su seguridad para consumo humano.

M A T E R I A L E S Y M E T O D O S

Descripción del Área de estudio

El Área de estudio se encuentra en el distrito de riego No. 14 perteneciente al Valle de Mexicali, en el Estado de Baja California (Fig. 1). Sus límites son, al norte el Valle Imperial, E.U.A., al este la Mesa Arenosa de San Luis, perteneciente al desierto de Altar, Sonora y el Valle de Yuma, E.U.A., al sur el litoral de Golfo de California y al oeste la Sierra de los Cucapah (Pérez, 1981).

El campo geotérmico Cerro Prieto está localizado en la parte norte de Baja California, aproximadamente a 35 Km al sur de Mexicali, colindando con la zona agrícola. El material que cubre al suelo del Valle, está constituido en su mayor parte por aluvión (limos y arcillas). En esta parte se encuentran algunas fallas que atraviesan el valle, forman parte del sistema de fallas de San Andrés.

De acuerdo a la carta de climas elaborada por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETEN/L), el clima para el Área de estudio es cálido seco, con precipitación de 60 mm/año, evaporación de 1,940 mm/año, temperatura máxima de 49° C, la media de 34° C y la mínima de 5° C. La dirección de los vientos predominantemente es de

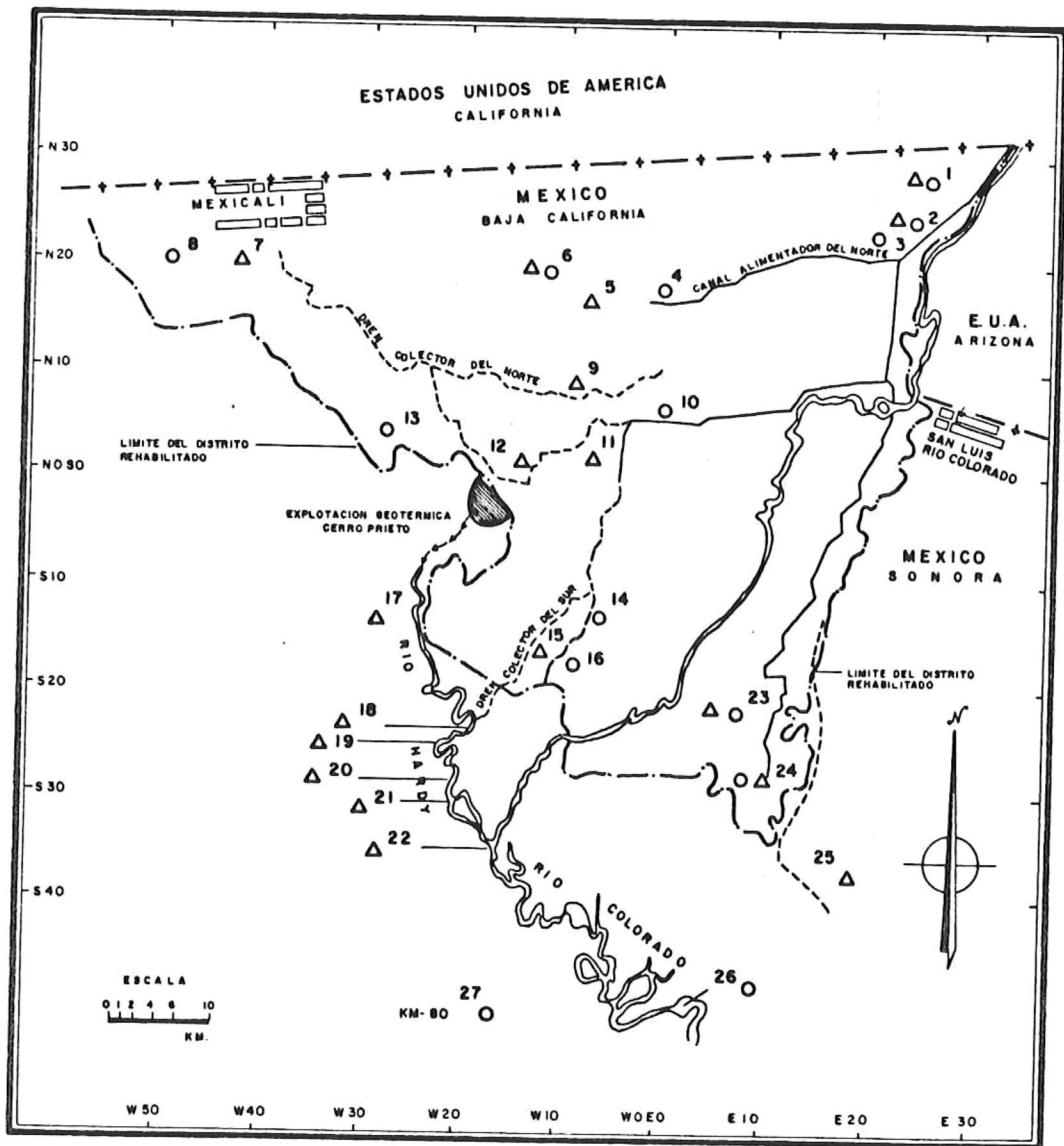


FIG. I- PLANTA GEOTERMICA CERRO PRIETO Y ESTACIONES DE MUESTREO DE *T. mossambica* ▲ Y *C. fluminea* ○ EN EL VALLE DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MEXICO.

noreste a sureste en los meses de diciembre hasta abril, en dirección de sureste a noreste en los meses de junio hasta octubre y los meses de calma se registran en mayo y noviembre (Miranda, 1982)π.

El Valle es una zona agrícola con extensión total de 328,000 has. de las cuales 230,000 son de área regable, cuenta con 2,552 km de canales, 1,492 km de drenes (S.A.R.H., 1981).

. Metodología

Los peces T. mossambica capturados con red en los drenes y canales del Valle de Mexicali, durante agosto de 1985 y febrero del siguiente año, en el río Bardo en junio de 1986. Además se colectaron almejas C. illuminata en febrero de 1986 en el distrito de riego del mismo valle (Fig. 1). Las estaciones fueron estratégicamente seleccionadas de acuerdo a su acceso y localización con respecto a la planta geotérmica Cerro Prieto.

Los muestreos de peces y almejas fueron aleatorios, siendo los organismos inmediatamente congelados en hielo seco durante su transporte al laboratorio para su análisis posterior. Se midieron para cada especie características biométricas (talla y peso). El tejido del músculo axial de

los peces fue analizado individualmente. Para las almejas se preparó un homogenado integrado de 25 organismos por estación. La literatura disponible sobre la variabilidad de elementos traza dentro de las poblaciones de moluscos bivalvos (Gordon et al., 1980, Boyden y Phillips, 1981) sugieren que una muestra de 25 individuos es suficiente para caracterizar con precisión las concentraciones de los elementos presentes en la población. La digestión de una alícuota de 1 g peso húmedo fue de acuerdo al método descrito por Stainton (1971), modificado por Stephenson et al., (1985). El análisis de mercurio se determinó en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 303 B, equipado con una celda de ventana de cuarzo, empleando el método de la jeringa indicado por Stainton (op cit.). Para el control de una calidad en la exactitud del análisis, se midió en hojas de hortalizas (SRM 1521, National Bureau of Standards, E.U.A.), para la concentración de mercurio se obtuvo un valor 0.138 ± 0.004 contra el valor certificado de NBS de $0.135 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. Varias muestras de control fueron usadas para detectar una posible contaminación durante la digestión y el análisis.

Análisis estadístico

Para conocer la variación geográfica de los niveles de mercurio entre las localidades, se efectuaron análisis de

varianza paramétrica de una vía (ANVA). Para clasificar las diferencias se realizó un análisis *posteriori* Student-Neuman-Keuls (SNK).

Anterior a estos análisis se hicieron pruebas de normalidad de residuos, mediante el ajuste a una distribución ji-cuadrada y Kolmogorov Smirnov y homogeneidad de varianzas de Bartlett. Únicamente para las muestras de almeja y con el fin de estabilizar la varianza de las concentraciones de mercurio, se procedió a transformar los datos originales (función $\log_{10} X_i$) con el objeto de estabilizar la varianza. Para observar las diferencias temporales entre los muestreos se aplicó una prueba t-Student.

Para determinar si existe una relación entre las variables, concentración de mercurio, contenido de mercurio en los peces, peso del músculo y talla, se realizó un análisis de correlación de Pearson. Por último se aplicó un análisis de regresión lineal simple entre las características biométricas y el contenido de mercurio en los peces colectados en el río Haray, para predecir valores del contenido de mercurio, en función de la variable independiente. Todos los análisis se realizaron de acuerdo a (Sokal y Rohlf, 1969).

R E S U L T A D O S

Peces Tilapia mossambica

Los valores promedio de peso del músculo axial , longitud y concentración de mercurio en $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco en el músculo axial de T. mossambica se describen en la tabla I. Para el muestreo de agosto de 1985, el mínimo y el máximo de la concentración de mercurio en peso seco se presentó en la estación 9 dren ejido Jalapa con $0.01 \mu\text{g g}^{-1}$ y en la estación 12 dren ejido Hicalgo con $0.14 \mu\text{g g}^{-1}$. Durante 1986, en febrero el intervalo de las concentraciones fueron de $0.01 - 0.05 \mu\text{g g}^{-1}$ para la estación 2 canal Alamo y estación 25 dren Welton respectivamente. En el tercer muestreo realizado en junio en el río Haráy se registraron los mayores valores promedio de mercurio en el Valle de Mexicali, detectándose una variación de 0.08 a $0.13 \mu\text{g g}^{-1}$. La gran media y desviación estandar de concentración de mercurio en los peces examinados durante los tres muestreos fue de $0.05 \pm 0.04 \mu\text{g g}^{-1}$.

La aplicación de un ANOVA sobre los datos de concentración, señalan la existencia de diferencias

TABLA I. Valores promedio de peso húmedo, peso seco (g), longitud (cm) y concentración de mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$ base peso seco) en el músculo comestible del pez T. mossambica.

Fecha	Est./ Localidad	n	Talla	Peso húmedo	Peso seco	Hg
			+			+
Agosto 1985	5 Canal Yucatán	3	18.0 - 5.55	53.2	5.71	0.02 - 0.02
	9 Dren, Ej. Jalapa	1	13.5	18.3	1.83	0.01
	11 Dren, Ej. Nvo. León	3	18.7 ± 0.31	40.9	4.21	0.03 ± 0.02
	12 Dren, Ej. Hidalgo	2	17.1 ± 4.03	40.6	4.51	0.14 ± 0.07
	15 Dren, Col. Carranza	3	19.4 ± 1.10	47.3	5.42	0.02 ± 0.01
	17 Canal Cucapah	3	14.63 ± 0.32	21.7	2.34	0.07 ± 0.01
	21 Río Hardy	3	14.20 ± 0.72	18.3	2.00	0.02 ± 0.01
	24 Canal, Col. Zacatecas	3	12.83 ± 1.89	10.7	1.16	0.07 ± 0.01
Febrero 1986	1 Canal, El Campillo	1	27.0	154.7	1.19	0.02
	2 Canal Alamo	1	26.9	129.3	12.90	0.01
	5 Canal Yucatán	3	26.7 ± 1.44	123.2	13.10	0.01 ± 0.01
	6 Dren La Mesa	1	15.5	30.1	2.70	0.01
	7 Río Nuevo	1	25.6	100.0	10.00	0.02
	9 Dren, Ej. Jalapa	3	20.6 ± 4.85	63.6	9.47	0.02 ± 0.01
	11 Dren, Ej. Nvo. León	1	25.6	132.7	16.60	0.02
	15 Dren, Col. Carranza	2	21.0 ± 0.00	49.3	5.50	0.04 ± 0.01
	21 Río Hardy	3	18.7 ± 0.58	37.9	3.87	0.02 ± 0.01
	23 Canal, Est. Coahuila	3	21.1 ± 0.38	51.2	5.67	0.04 ± 0.03
	25 Dren Welton	3	25.7 ± 1.42	111.6	12.53	0.05 ± 0.01
Junio 1986	18 Río Hardy	4	24.0 ± 0.82	66.2	12.20	0.09 ± 0.02
	19 Río Hardy	6	20.3 ± 1.33	50.1	9.40	0.13 ± 0.03
	20 Río Hardy	5	22.8 ± 2.75	63.2	11.90	0.10 ± 0.05
	22 Río Hardy	4	25.7 ± 1.42	111.6	6.40	0.08 ± 0.03
	Gran Media \bar{X}	58	63.9 ± 4.49	20.3	6.98	0.05 ± 0.04

geográficas significativas ($P < 0.05$) en los peces capturados en agosto y febrero. Las comportamiento de las concentraciones de mercurio detectadas en junio no mostraron diferencias geográficas. La clasificación de las diferencias, de cada uno de los muestreos se observan en la tabla II. El primer y segundo muestreo de los peces presenta mas de una letra diferente, sin embargo para las estaciones del río Hardy aparecen con una misma letra.

Para las estaciones (5, 15, 21) comunes en el primer y segundo periodo de muestreo, se ejecutó una prueba t-Student, la cual reveló que no existían diferencias temporales significativas a $P < 0.05$ en las concentraciones de mercurio para los dos periodos de colecta.

En la figura 2, se muestra la curva de regresión lineal y el coeficiente de correlación al nivel $P < 0.05$ que relaciona el contenido de mercurio en el tejido del músculo con el peso y la talla de peces individuales colectados en el río Hardy. La función que describe la recta sugiere la tendencia entre el nivel de mercurio total y el peso o la talla de los peces.

Almejas Corbicula fluminea

TABLA II. Variación geográfica de las concentraciones de mercurio biológicamente disponible en *T. mossambica* y *C. fluminea* en el Distrito No. 14 del Valle de Mexicali, B.C. Los resultados se presentan en $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco. 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.

Est.	<i>T. mossambica</i> agosto, 1985	<i>T. mossambica</i> febrero, 1986	<i>T. mossambica</i> Junio, 1986	<i>C. fluminea</i> febrero, 1986
1				
2				
3				0.16 C
4				0.16 B
5	0.02 A	0.01 A		0.04 AB
6				0.06 B
7				
8				0.06 B
9		0.02 AB		0.16 C
10				
11	0.03 AB			0.07 BC
12	0.14 C			
13				
14				0.08 BC
15	0.02 A	0.04 AB		0.10 BC
16				
17	0.07 B			0.15
18			0.09 A	
19			0.13 A	
20			0.10 A	
21	0.02 A	0.02 AB		
22			0.08 A	
23		0.04 AB		0.17 C
24	0.07 B			0.32 D
25		0.05 AB		
26				0.02 A
27				0.02 A

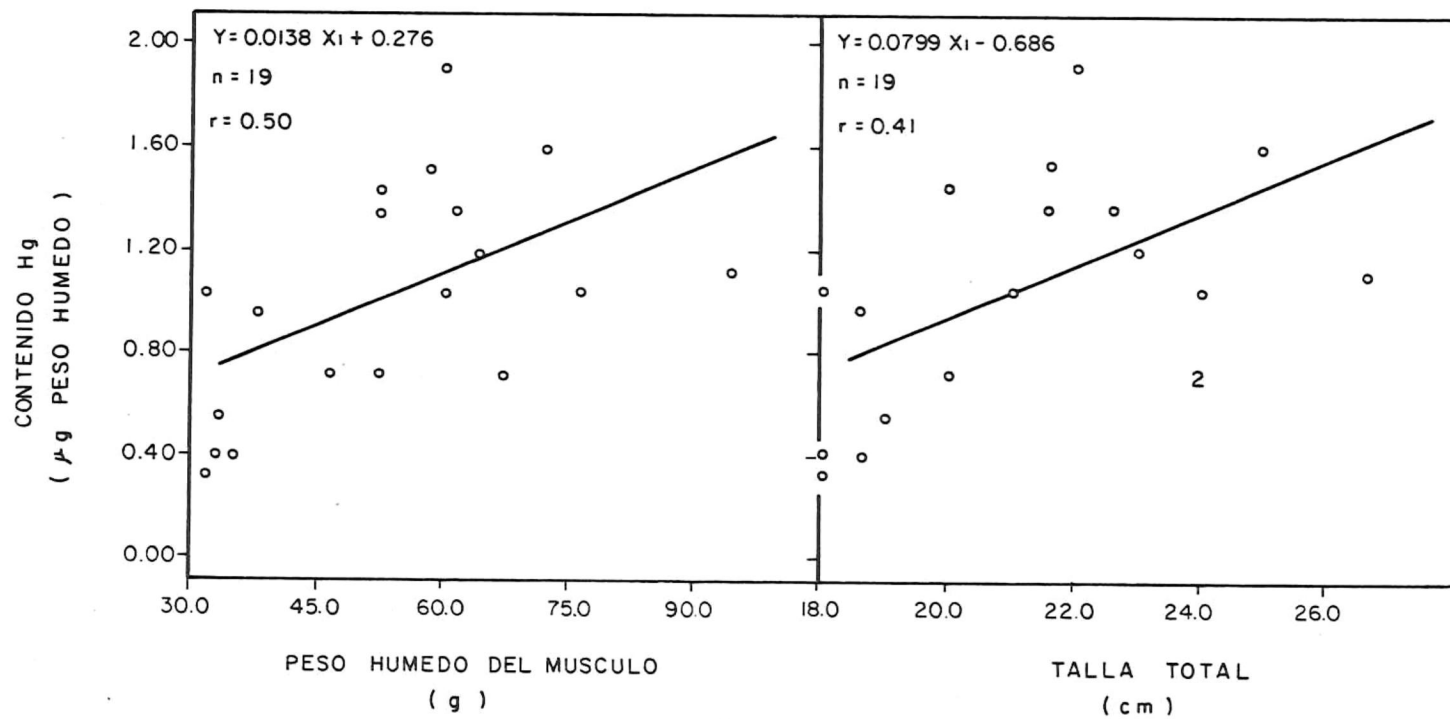


FIG. 2 - DESCRIPCION DE LA RELACION ENTRE EL PESO Y TALLA DE T. mossambica Y EL CONTENIDO TOTAL DE MERCURIO.

Para las almejas C. fluminea su distribución se limitó a los canales y solo en un dren del Valle de Mexicali se le colectó. Lo anterior se debe a que este molusco no habita en lugares con salinidades mayores de 5‰ (Copeland et al., 1974).

Las concentraciones de mercurio con ciertas características biométricas en las almejas C. fluminea colectadas en febrero, 1986 se señalan en la tabla III. Las concentraciones presentaron un intervalo de 0.04 - 0.32 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco en la estación 3 canal Represa Galeana y en la estación 24 canal colonia Zacatecas respectivamente. La gran media de concentraciones de mercurio en las almejas examinadas fue de 0.11 $\mu\text{g g}^{-1}$. El ANOVA, revela diferencias geográficas significativas ($P < 0.05$) en estos moluscos colectados (tabla II).

Los datos de la concentración de mercurio en peces y almejas presentados en la tabla I y III están basados en peso de tejido seco. El dato equivalente en base de peso húmedo puede ser obtenido usando la razón peso húmedo/peso seco. Los datos basados en peso húmedo son útiles principalmente al comparar el nivel del mercurio observado con el estándar de salud pública, el cual está basado en peso de tejido húmedo.

TABLA III. Valores promedio de longitud (mm), peso húmedo, peso seco (g) y concentración de mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$ base peso seco) en la almeja C. fluminea.

Fecha Feb. 1986	Est./ Localidad	*n	Talla	Peso húmedo	Peso Seco	Hg.
			+			+
	1 Canal, El Campillo	3	30.56 - 1.29	1.40	0.20	0.16 - 0.03
	2 Canal Alamo	2	35.28 ± 2.54	2.97	0.48	0.06 ± 0.02
	3 Canal, Rep. Galeana	3	25.92 ± 1.91	1.34	0.30	0.04 ± 0.01
	4 Canal Independencia	2	33.40 ± 3.80	2.98	0.75	0.06 ± 0.01
	6 Dren La Mesa	2	40.24 ± 3.38	3.30	0.45	0.06 ± 0.03
	8 Canal, Col. Zaragoza	2	34.08 ± 4.19	1.93	0.22	0.16 ± 0.04
	10 Canal, Ej. Quintana Roo	3	23.72 ± 1.02	1.15	0.28	0.07 ± 0.03
	13 Canal Cerro Prieto	2	32.28 ± 7.61	2.71	0.54	0.08 ± 0.02
	14 Canal, Ej. Sonora	3	26.12 ± 1.09	1.14	0.20	0.11 ± 0.01
	16 Canal, El Caimán	2	29.72 ± 2.99	1.48	0.21	0.15 ± 0.08
	23 Canal, Est. Coahuila	3	31.32 ± 0.99	2.22	0.44	0.17 ± 0.02
	24 Canal, Col. Zacatecas	2	26.68 ± 2.10	1.00	0.18	0.32 ± 0.03
	26 Río Colorado	2	31.52 ± 1.64	2.62	0.62	0.02 ± 0.01
	27 Canal, Km. 80	3	27.96 ± 1.49	1.91	0.45	0.02 ± 0.01
	Gran Media	34	30.63 ± 4.40	2.01	0.38	0.11 ± 0.08

*n Número de réplica integrada por 25 organismos.

DISCUSION

Los resultados del presente estudio revelan que los mayores valores de mercurio en los peces T. mossambica se determinaron en las estaciones (12, 18, 19, 20, 22) ubicados en la parte oeste del Valle de Mexicali. Las concentraciones de mercurio en estos peces descritos en la tabla I son consistentes en mostrar una mayor presencia de este elemento en los organismos aledaños a las descargas geotérmicas en el río Hardy que en los organismos alejados a estas descargas. Estos resultados sugieren que la planta Cerro Prieto contribuye con cierta medida a la contaminación por mercurio en el Distrito del Valle de Mexicali. Otros estudio en Nueva Zelanda han reportado hallazgos similares, Weissberg y Zobel (op cit.), señalan altas concentraciones de mercurio ($1.12 \mu\text{g g}^{-1}$) en las truchas de las aguas del río Waimato que recibe considerables descargas geotérmicas. Indican además, concentraciones menores de mercurio en truchas de aguas similares que reciben poca o ninguna descarga de origen geotérmico.

Un importante hallazgo en este trabajo es que ninguna muestra de peces y almejas analizadas excedieron el límite de tolerancia aceptado de $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ (PAHO, 1973). De acuerdo a esto, es razonable que las muestras biológicas capturadas en este tiempo del estudio en el Valle de Mexicali son

consideradas sin riesgo para consumo humano desde el punto de vista de contaminación por mercurio.

En general la variación en las concentraciones de mercurio en peces fue alta, la gran media tiene el 80 % y en algunas localidades hasta el 100 % canal Yucatán, las concentraciones en estos lugares son bajas, y en donde los niveles son más altos la variación disminuye hasta 30 % (río Harcy). Las variaciones pueden ser debido al diseño experimental del muestreo, a la inherente al fenómeno, la de cada una de las variables, por el proceso analítico.

La existencia de diferencias geográficas significativas de contaminación por mercurio en los peces y las almejas (tabla II) en la zona de estudio, pudieran ser atribuidas a la biodisponibilidad del elemento. Los valores de mercurio en las almejas fueron más altos (\bar{X} 0.11 $\mu\text{g g}^{-1}$) con respecto a los detectados en los peces (\bar{X} 0.05 $\mu\text{g g}^{-1}$). Lo anterior, puede ser debido al hábitat que ocupa la almeja en el ecosistema y a sus hábitos alimenticios, pues estos organismos están directamente expuestos a los sedimentos, lugar donde se acumula mayormente el mercurio (Creelius, 1975).

Algunos investigadores han encontrado que el comportamiento de los niveles de mercurio aumentan en

función de la edad del organismo (Johnels et al , 1967, Susuki et al , 1973, Harakeh et al , 1985). La regresión (fig. 2) muestra una predicción baja del orden de $r = 25\%$ para peso del músculo y 16% para talla. Esto puede deberse a que el tamaño de la muestra no fue suficiente, o a la biodisponibilidad del mercurio.

En general los resultados de este trabajo indican una mayor contaminación por mercurio en las localidades adyacentes a la planta geotérmica Cerro Prieto. Sin embargo, las más altas concentraciones de este elemento ($0.17 - 0.32 \mu\text{g g}^{-1}$) encontradas en el Valle de Mexicali fueron detectadas en las almejas C. fluminea (tabla III) en las estaciones alejadas a la planta (estación 23 canal Coahuila y 24 canal Zacatecas). Este hallazgo podría reflejar la posible existencia de anomalías geotérmicas en estas localidades. Molina, (1980) menciona que el vapor de mercurio tiene facilidad de emerger por difusión por los materiales fracturados y entre las fallas. Sugiere la hipótesis de que el mercurio se encuentra cerca y dentro de áreas con actividad geotérmica y que este elemento es un excelente marcador de campos geotérmicos. Una compilación de la tectónica del Valle de Mexicali, descrita por González García, (1986) muestra las fallas activas existentes en el Valle de Mexicali. En la figura 3 se muestra la relación de las concentraciones altas de mercurio en C. fluminea con las

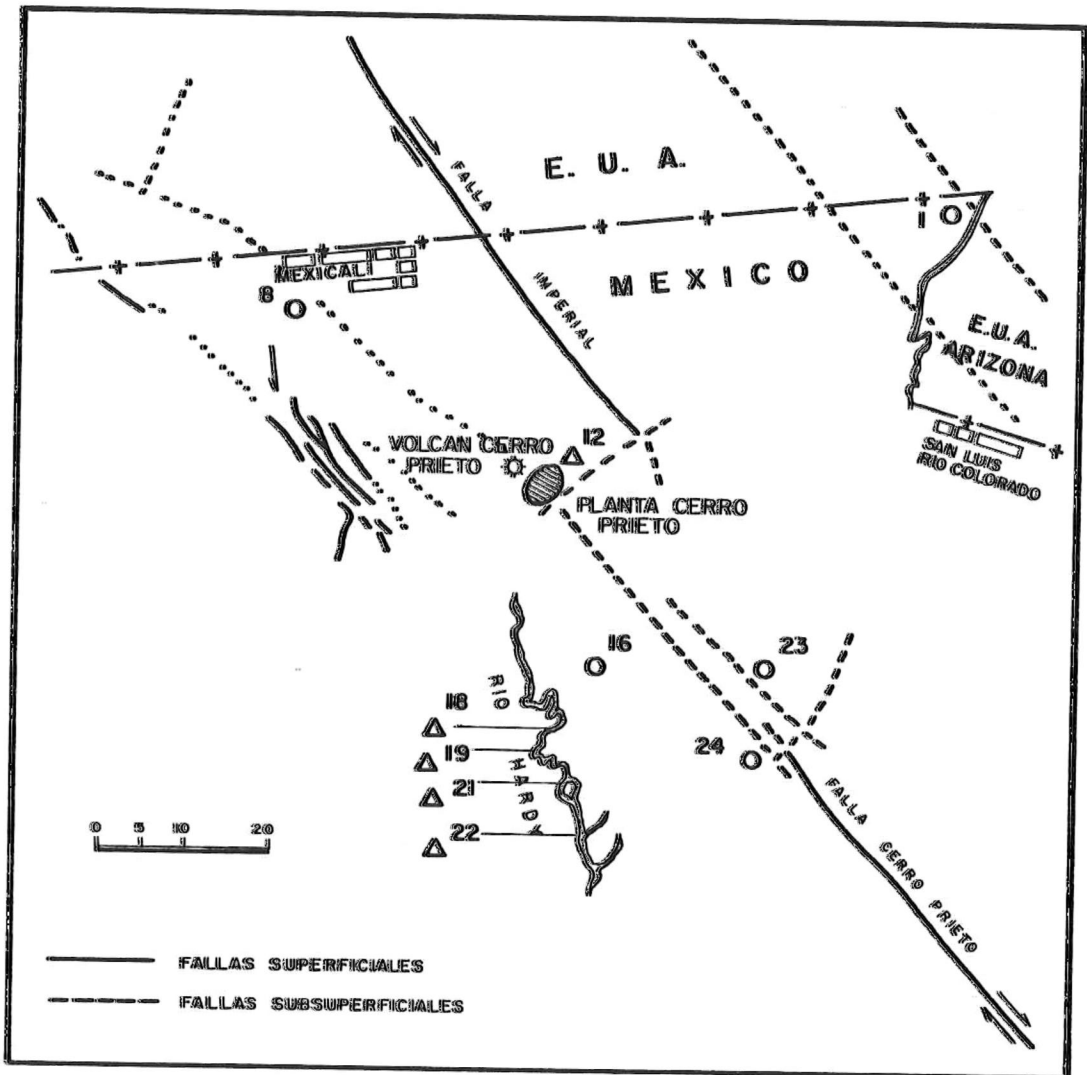


FIG. 3 - RELACION DE LAS FALLAS EXISTENTES EN EL VALLE DE MEXICALI CON LAS CONCENTRACIONES ANOMALAS DE MERCURIO ($\mu\text{g g}^{-1}$ PESO SECO) EN T. mossambica (0.08 - 0.14) Y EN C. fluminea (0.15 - 0.32).

fallas existentes. González García (comunicación personal) señala la existencia de agua caliente (37°C aproximadamente) en pozos someros ubicados en las estaciones 23 y 24. Este fenómeno se considera como una manifestación de una anomalía geotérmica.

Debemos señalar que varias de las hipótesis descritas en este trabajo requieren de otras investigaciones como el análisis de agua, sedimentos y emisiones de mercurio en el río Marcy y en la planta geotérmica Cerro Prieto. Las aproximaciones a la explicación de nuestros hallazgos pueden tener validez en cuanto al mecanismo de introducción de mercurio y la presencia de éste en los peces y almejas residentes del Distrito de Riego del Valle de Mexicali. Creemos que existe una necesidad de continuar una vigilancia de la calidad de la biota del lugar y sobre todo de la destinada para consumo humano.

Implicaciones al Ecosistema y a la Salud Pública.

Debido a que no contamos con antecedentes de estudios de contaminación por mercurio en la zona de estudio hace imposible el poder evaluar temporalmente el impacto de las emisiones de mercurio de la planta Cerro Prieto en la biota existente. Sin embargo, a pesar de que esta planta geotérmica ha estado en operación y desarrollo durante 14

años, no hemos tenido conocimiento de problemas serios de contaminación ambiental por mercurio. Ninguna de las muestras analizadas presentan niveles de mercurio que pudieran indicar la existencia de un grave problema a la salud pública. Las concentraciones de mercurio fueron particularmente bajas y no se aproximan al nivel ($0.5 \mu\text{g g}^{-1}$) que inquietaría a la salud pública.

La contaminación ambiental por mercurio geotérmico en la planta Cerro Prieto tiene consecuencias a corto plazo. El incremento de los niveles de mercurio en la biosfera es inevitable así como su depositación en el terreno y sedimentos. Los efectos a corto plazo dependerán del transporte atmosférico y la depositación del mercurio gaseoso actualmente liberado. En este contexto, la consecuencia biológica inmediata, incluye la contaminación de la biota y el peligro que representa a la salud pública. Siegel and Siegel (1975), mencionan que cualquiera que sea la fuente de mercurio, la capacidad de bioconcentración de los organismos acuáticos y terrestres aumentará la penetración y distribución del mercurio con / entre los ecosistemas y las cadenas tróficas.

La Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA, U.S.A) en 1977 no contaba con un estándar de límite de tolerancia de emisiones de mercurio por plantas generadoras de energía.

Su estándar de referencia para plantas fundidoras de mercurio no debía de exceder de 2300 g a la atmósfera en un periodo de 24 horas. Robertson, (op cit.) , señala para una planta geotérmica de 75 MW una emisión de mercurio a la atmósfera de 144 g/año. Realizando una proporción aventurada para la capacidad esperada de 510 MW para 1987 en la planta Cerro Prieto, la emisión de mercurio a la atmósfera estaría por debajo del límite tolerable permitido. Sin embargo, se requieren de mediciones actuales que verifiquen lo anterior.

CONCLUSION

Los resultados sugieren que la planta geotérmica de Cerro Prieto contribuye a una contaminación por mercurio en la biota residente del Valle de Mexicali. Las concentraciones en peces y almejas analizadas fueron particularmente bajas y no se aproximan al nivel de 0.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ aceptado por las autoridades internacionales. De acuerdo a esto, es posible asumir que la biota capturada durante el periodo de este estudio en el Valle de Mexicali es considerada sin riesgo para el consumo humano desde el punto de vista de contaminación por mercurio.

Literatura Citada

- Boyden, C.R. y D.J.H. Phillips, 1981. Seasonal variation and inherent variability of trace elements in oysters and their implications for indicators studies. Mar. Ecol. Progr. Ser., 5, 29-40.
- Copeland, B. J., R. N. Tenore y D. D. Horton, 1974. Coastal Ecological Systems of the United States. Ocean Ch. T., D. Y. Copelan and E. A. Lohan, ed. Vol. II, 313-357.
- Cresciani, E. A., H. H. Botmer y R. Carpenter, 1975. Geochemistry of arsenic, antimony, mercury and related in sediments of Puget Sound. Environ. Sci. Technol., 9, 325-332.
- Estadísticas Generales de Baja California, 1983. Comité de planeación para el desarrollo del Estado de Baja California, 311 pp.
- González García J.J., 1986. Sistemática del Valle de Mexicali, 1977-1980. Tesis de Maestría. C.I.C.E.S.D. Bascom, B.C. México.
- Gordon, H., G.A. Lauer y J.L. Martin, 1980. Mutinus californicus as a bioindicator of trace metal pollution. Variability and statistical considerations. Mar. Pollut. Bull. 11(7), 195-8.
- Hargrave A.S., Aftin Aera, Ray Jurek y Hector Karanagorian, 1985. Mercury levels in some species of fish from the coast of Lebanon. Mar. Environ. Res., 16, 15-22.
- Hesslein, F.H., 1969. Field investigations concerning the occurrence of mercury in fish, water, bottom sediment and bottom organisms. Report to the Research Board of the National Environmental Protection Board. Sweden.
- Honnels, A. G., T. Westermarck, V. Berg, P. I. Persson y B. Sjöstrand, 1967. Hake (Merluccius L.) and some other benthic organisms in Sweden as indicators of mercury contamination in the environment. Oikos, Vol. 18, 323-332.

- Mercado S., 1976. Disposiciones de Resechos Geotérmicos. 1er. Simposio Internacional sobre energía geotérmica en América Latina, Guatemala 777-799 .
- Mercado S., 1977. Salineras de cosecho de la planta geotérmica de Cerro Prieto. Problemática y posibles beneficios. Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas 12-14 pp.
- Miranda, V.H., 1982. Impacto ecológico por el uso de insecticidas en el Valle de Mexicali, B.C. Tesis profesional, Escuela Superior de Ciencias Agrícolas, U.A.B.C., Mexicali, B.C. México.
- Molina Berceger, R., 1980. Exploración geotérmica en Los Hornos-Las Berrantacas usando el vapor de mercurio contenido en los suelos. Dpto. de Geología y Minas Geoquímica. C.F.E. México, 1-38.
- P.A.H.O., 1975. Normas sanitarias de alimentos, aprobada por el Consejo de Ministros de Salud Pública de Centro América y Panamá, 1964-1966. Pan American Health Organization, Guatemala, p. PP-9.
- Pérez, B.L., 1981. Ordenamiento Ecológico del Valle de Mexicali. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, U.A.B.C., México.
- Robertson, D.E., L.A. Greckelius, J. Brantner y J.L. Ludwick, 1977. Mercury emission from geothermal power plant. Science 196, 1094-97.
- S.A.H.H., 1971. Boletín Hiarológico No. 28. Distrito No. 14. Regiones Hiarálicas No. 1 a 7. Península de B.C., México, D.F., I-22-32.
- Siegel, S.H. y D.L. Siegel, 1975. Geothermal Hazards: mercury emission. Environ. Sci. Technol. 9, 473-474
- Sokal, R. y F.J. Rohlf, 1969. Biometry. W.H. Freeman and Co., 821 pp.
- Suzuki, T., T. Miyama y C. Toyama, 1975. The chemical form and body distribution of mercury in marine fish. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 10, 347-53.
- Stainton, H., 1971. Syringe procedure for transfer of nanogram quantities of mercury vapor for flameless atomic absorption spectrophotometry. Anal. Chem.

43(4). 626-627.

Stephenson, M., D. Smith, G. Ichikawa, J. Goetzl, S. Eastman, M. Manera, J. Bennett y M. Martin, 1985. State Mussel Watch Program. Preliminary data report, 1984-1985. California Department of Fish and Game Environmental Service Branch, U.S.A., 1-5.

Weissberg, B.G. y M.G.K. Zobel, 1973. Geothermal mercury pollution in New Zealand. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 9(3). 148-155.