

DISPONIBILIDAD BIOLÓGICA DE MERCURIO EN LAS AGUAS DE LA COSTA NORTE DE BAJA CALIFORNIA

BIOLOGICAL AVAILABILITY OF MERCURY IN COASTAL SEAWATERS OF NORTHERN BAJA CALIFORNIA

Por/By
Efraín Abraham Gutiérrez-Galindo
Gilberto Flores Muñoz
Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apdo. postal 453
Ensenada, Baja California, México

GUTIERREZ-GALINDO, Efraín y G. Flores Muñoz. Disponibilidad biológica de mercurio en las aguas de la Costa Norte de Baja California. Biological availability of mercury in coastal seawaters of northern Baja California. Ciencias Marinas 12(2): 85-98 (14)

RESUMEN

Como resultado de un esfuerzo de cooperación entre el Departamento de Caza y Pesca de California, E.U.A. y el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, en 1982, se inició un programa de vigilancia de contaminantes tóxicos traza, utilizando indicadores biológicos (moluscos) en el área costera de Baja California. La finalidad del presente estudio es investigar la disponibilidad biológica de mercurio en las aguas de la costa norte de Baja California, empleando para tal propósito como organismo indicador el mejillón residente *Mytilus californianus*. Los organismos fueron colectados en ocho sitios costeros situados desde la frontera México-E.U.A. hasta Bahía San Quintín, al sur de la península (aproximadamente 300 km.). Los resultados son discutidos en relación a la variación de contaminación temporal y geográfica. Se observan dos patrones de conducta en la disponibilidad biológica del mercurio. Las mayores concentraciones de mercurio en el mejillón ocurrió en sitios relativamente aislados de aporte antropogénico en el sector sur (Ensenada a Bahía San Quintín). Se sugiere que este fenómeno puede estar asociado a la ocurrencia de surgencias fuertes en esa área.

ABSTRACT

As a result of a cooperative effort between the California Department of Fish and Game U.S.A. and the Instituto de Investigaciones Oceanológicas of Universidad Autónoma de Baja California a monitoring programme of trace toxic pollutants in biological indicators (mussel-watch) in the Baja California coastal area was started in 1982. The aim of the present study is to investigate the mercury bioavailability in the coastal water from the northern Baja California. For this purpose the resident mussel *Mytilus californianus* was used as biological indicator. The specimens were collected in eight coastal sites from the Mexican-U.S.A. border to Bahía San Quintín (approximately 240 miles South). The results are discussed in relation to temporal and geographic pollution. Two behavior patterns are observed in the biological availability of mercury. The highest mercury concentrations in the mussel occur at relatively isolated sites from antropogenic inputs in the Southern Sector (Ensenada to Bahía San Quintín). It is suggested that this phenomenon, could be associated with the strong upwelling occurrence in that area.

INTRODUCCION

De los contaminantes que mayor interés han despertado para su investigación en los

INTRODUCTION

Among the most interesting pollutants in the last years are trace metals, because they

últimos años destacan los metales traza, debido a las grandes cantidades que son utilizadas en la actividad industrial (Craig, 1980) y que han sido introducidos por diversas vías a las zonas costeras (Goldberg *et al.*, 1977). Así como también por sus efectos acumulativos tóxicos letales y subletales ampliamente reconocidos en los organismos marinos, terrestres y en el hombre (Calabrese *et al.*, 1973; Aubert *et al.*, 1976; Bryan 1976; Eisler, 1981; Gutiérrez-Galindo, 1981; Ahsanullah, 1982).

El mercurio es uno de los contaminantes que mayores esfuerzos se le han dedicado en investigaciones recientes debido a su poder tóxico para la salud humana (Bryan, 1980). Fué el causante de envenenamientos masivos de ciudadanos japoneses en las regiones de Minamata (1953-1960) y Niigata (1960-1965) y responsable de una gran mortandad de aves y peces envenenados con fungicidas organomercuriales en Suecia (Berg *et al.*, 1966; Ui, 1969; Tokuomi, 1971). En la actualidad no se tienen evidencias que este elemento y sus derivados orgánicos formen parte del metabolismo normal de los seres vivos (Craig, 1980). Por lo que se le considera elemento no esencial para la vida (Bryan, 1976). Estudios sobre los efectos tóxicos del mercurio en el hombre, muestran que actúa sobre el sistema nervioso central, renal y causa alteraciones en los cromosomas y en la piel (Saha, 1971; Eisler, 1981). En cuanto a los organismos marinos, Eisler, (1977) y Martín *et al.*, (1981) encontraron que por lo general el mercurio presenta un poder tóxico mayor que otros metales en los estadios embrionarios y larvarios de moluscos y crustáceos. Strongren (1982), señala que concentraciones menores de 0.3 ug/l reducen la tasa de crecimiento a menos del 50% en el mejillón *Mytilus edulis* durante cinco días de exposición. De Coursey y Venberg (1972) mencionan que la exposición de las larvas de cangrejo *Uca pugilator* a concentraciones subletales de 1.8 ug/l de mercurio afecta la velocidad de natación y el metabolismo lo que ocasiona que sean fácil presa de la depredación. Barthalmus, (1977) encontró que concentraciones subletales de mercurio de 0.55 ug/l alteran el comportamiento del camarón de los pastos *Palaemonetes pugio*. Harris *et al.* (1970) señalan que los órgano-

are fully used in industry (Craig, 1980) and have been introduced into marine coasts by diverse ways (Goldberg *et al.*, 1977). Also for their letal and subletal cumulative toxic effects in marine and terrestrial organisms and in humans (Calabrese *et al.*, 1973; Aubert *et al.*, 1976; Bryan, 1976; Eisler, 1981; Gutierrez-Galindo, 1981; Ahsanullah, 1982).

Mercury is one of the most recently studied pollutants because of its toxicity to human health (Bryan, 1980). It caused massive intoxication of japanese citizens in Minatama (1953-1960) and Niigata (1960-1965) regions and caused a great mortality of birds and fishes poisoned with organomercurial fungicides in Sweden (Berg *et al.*, 1966; Ui, 1969; Tokuomi, 1971). Nowadays there are no evidences of this element and its organic derivatives as a component in the normal metabolism of organisms (Craig, 1980). It is considered as a non essential element to life (Bryan, 1976). Studies about toxic effects of mercury in humans show that it acts on the central nervous, renal system, and causes chromosomal and skin alterations (Saha, 1971; Eisler, 1981). As for marine organisms, Eisler (1977) and Martin *et al.* (1981) found that, in general, mercury has a higher toxic power, compared with other metals, on embryonal and larval stages of molluscs and crustaceans. Strongren (1982) shows that concentrations of less than 0.3 µg/l reduce the growth ratio at least 50% in *Mytilus edulis* mussel after five days of exposition. DeCoursey and Venberg (1972) mention that larvae of *Uca pugilator* crab exposed to subletal concentrations of mercury of 1.8 ug/l are affected in their swimming speed and metabolism, which makes them easily depredated. Barthalmus (1977) found that mercury subletal concentrations about 0.55 ug/l alter the "grass shrimp" *Palaemonetes pugio* behavior. Harris *et al.*, (1970) show that the organo-mercurials inhibit the growth and photosynthetic activity of diatoms and marine phytoplankton.

In the South of California, U.S., there are antecedents of an input of about 11 to 17 metric tons-year into the oceanographic basin between Punta Concepción, U.S. and Punta Colonet, Mexico. A 74% enter by the atmosphere, 25% by residual waters from the

mercuriales inhiben el crecimiento y la fotosíntesis de diatomeas y fitoplancton marino.

En la región del sur de California, E.U.A. existen antecedentes de una introducción de 11 a 17 toneladas anuales a la cuenca oceanográfica comprendida de Punta Concepción, E.U.A., a Punta Colonet, México. Donde un 74% ingresa vía atmósfera, un 25% por las aguas de desecho procedentes de los principales centros metropolitanos del Sur de California, E.U.A., y el resto por aguas de escurrimiento (Stephenson *et al.*, 1979; Eganhouse *et al.* 1976), muestra valores del orden de 0.03 ug/l de mercurio en las aguas superficiales del Sur de California, E.U.A.

Eganhouse *et al.* 1976 muestra de acuerdo a los antecedentes de toxicidad y de aporte de origen antropógeno y natural hacia las aguas costeras de esta región, la presencia de mercurio es una preocupación importante en la Salud Pública y en la Salubridad del ecosistema marino. El objetivo de este trabajo es contribuir al conocimiento del estado de contaminación química en la zona costera noroccidental de Baja California, México, realizándose para ello una vigilancia sistemática de los niveles del mercurio biológicamente disponible e investigando su variación temporal y geográfica en su concentración. Para tal propósito se utilizó al mejillón *Mytilus californianus* recomendado en los últimos nueve años como buen indicador biológico por sus características para la detección de tóxicos traza e identificación de zonas geográficas contaminadas (Goldberg, 1975; Goldber *et al.*, 1978; Phillips, 1980; Farrington *et al.*, 1983).

MATERIALES Y METODOS

Programa desarrollo y procedimientos generales

a) Selección preliminar del mejillón. El uso del mejillón *Mytilus californianus* es factible pues ofrece ventajas que supera en calidad la cuantificación de contaminantes en la columna de agua y sedimentos tal como lo establece la bibliografía anteriormente citada.

Selección y muestreo de las localidades. La selección de las localidades se hizo de

main metropolitan centers of South California, U.S., and the rest by drip waters (Stephenson *et al.*, 1979; Eganhouse *et al.*, 1976). Works realized by (Eganhouse *et al.*, 1976) show values in the levels of 0.03 ug/l in superficial waters of Southern California, U.S. In accord to its toxicity and anthropogenic and natural contributions into coastal waters in this region, the presence of mercury is a great preoccupation in Public Health and in the marine ecosystem quality. The objective of this paper is to contribute to the knowledge of the chemical pollution condition of the coastal zone in northwestern Baja California, Mexico, doing for this a systematic vigilance of the biologically available mercury levels and investigating its concentration variations in time and geographically. For this purpose, the mussel *Mytilus californianus* was used, recommended in the last nine years as a good biological indicator due to its characteristics for the trace metals detection in polluted geographic areas (Goldberg, 1975; Goldberg *et al.*, 1978; Phillips, 1980; Farrington *et al.*, 1983).

MATERIALS AND METHODS

Development and general procedures

a) Preliminar selection of the mussel. The use of the mussel *Mytilus californianus* is feasible because it surpasses in quality the quantification of pollutants in the waters column and sediment, as established in the precedent bibliography.

b) Selection and sampling of the localities. The selection of the localities was made according to a preliminar inspection and considering: The access and abundance of the mussel populations and the characteristics and sources of pollution in the area (Fig. 1, Table I).

The sampling period of the mussel was in February, April, July and September 1982. Those four sampling periods are related to oceanographic periods of upwelling events usually occur in spring and summer when cold rich waters ascend near the surface producing later a phytoplankton booming. In autumn and winter oceanic conditions prevail, superficial waters are warmer.

TABLA I. Descripción del área de colecta del mejillón *M. californianus*.
 TABLE I. Description of the sampling of *M. californianus* mussel.

Localidad	Característica del área	Utilización del área	Contaminación observada
Punta Bandera	Rocosa	Turístico	-
Popotla	Rocosa	Turístico	Descarga de aguas negras
Baja Mar	Rocosa	Turístico	Descarga de aguas negras
Punta Banda	Rocosa	Urbano-turístico	-
Punta China	Rocosa	Explotación de caliza	-
Eréndira	Rocosa	Urbano-semiturístico	-
Piedra Blanca	Areno-Rocosa	Semiturístico	-
San Quintín	Rocosa	Urbano-turístico	-

acuerdo con una inspección preliminar en la que se consideró: el acceso y abundancia de las poblaciones de mejillones y las características y fuentes de contaminación observadas en el área. (Fig. 1. Tabla I).

El periodo de muestreo de mejillón comprendió los meses de febrero, abril, julio y septiembre de 1982. La razón de estos cuatro periodos de colecta está relacionado con los periodos oceanográficos de surgencia y no surgencia que ocurren en Baja California. Los episodios máximos de surgencias usualmente ocurren en primavera y verano donde las aguas frías ricas en nutrientes ascienden a la superficie provocando posteriormente florecimiento de fitoplancton. En el otoño e invierno, las condiciones oceánicas prevalecen, las aguas superficiales son más cálidas, emprobeciéndose los nutrientes y la cantidad de fitoplancton tiende a disminuir. Bakun (1973) calculó índices de surgencia para la costa oeste de norte América, sus cálculos muestran condiciones favorables de surgencia en primavera. Fernández y Aldeco (1981), señalan en la localidad de Eréndira evidencias de la presencia del fenómeno de surgencia durante la primavera y el verano de 1980. En Bahía San Quintín Alvarez Borrego J. y S., (1982) aprecian claramente una serie de fenómenos de surgencia en primavera y verano durante 1979-1980. Según Bryan (1973), Stephenson *et al.*, (1980) las diferencias de disponibilidad de alimento y las condiciones físico-químicas de las aguas pueden afectar los niveles de los metales en los bivalos, por lo que es importante que los

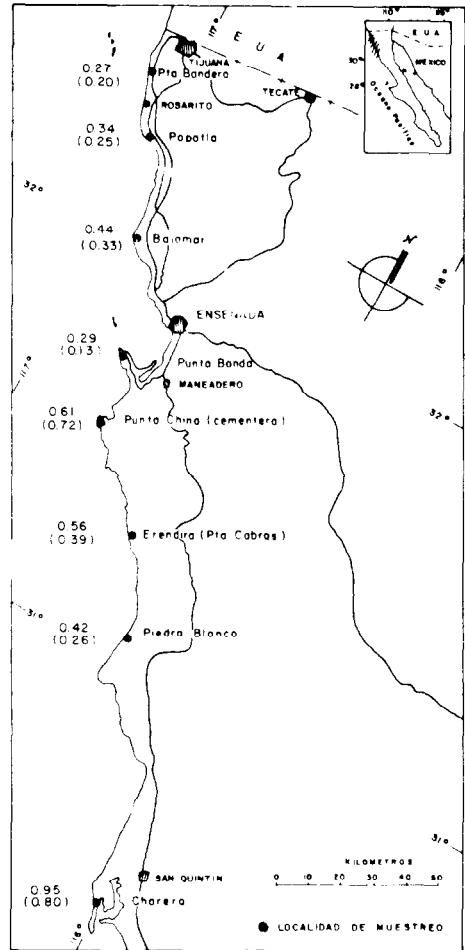


FIG. 1. Concentración de mercurio en el mejillón *Mytilus californianus* (10^{-6}g g^{-1} , peso seco) muestreado en la costa noroccidental.
 Mercury concentration in *Mytilus californianus* mussel (10^{-6}g g^{-1} , dry weight) sampled on the northwestern coast of Baja California. Values represent the average \pm standard deviation found in the period studied.

improverishing the nutrients, and the phytoplankton quantity decreases. (Bakun (1973) calculated upwelling indexes for the west coast of North America, his calculations show favorable conditions for upwelling in spring. Fernandez and Aldeco, (1981) mention an upwelling event during spring and summer 1980 in Eréndira. In Bahía San Quintín, Alvarez Borrego J. and S. (1982) found an upwelling during spring and summer 1979-1980. Bryan (1973), Stephenson *et*

muestreos de organismos deben realizarse durante los periodos de surgencia y no surgencia lo que permite detectar diferencias en el tejido blando de los mejillones.

Para cada localidad 25 mejillones *M. californianus* (talla 40-58 mm) fueron muestreados del sustrato rocoso del nivel medio de mareas. Siendo posteriormente transportados los organismos al laboratorio para su análisis. En cada localidad, muestras de agua superficial se colectaron durante el periodo de muestreo para análisis de salinidad (g/kg) (salinómetro conductímetro) en el laboratorio. Obteniéndose en términos regionales un promedio de 34.41% con rango de 34.22-34.65%.

c) Procedimiento analítico. En la preparación de la muestra 21 mejillones fueron descongelados y disectados individualmente separando el visus y las gónadas. Oullette, (1978) señala que el volumen de las gónadas fluctúa estacionalmente, pudiendo afectar el peso del organismo adulto hasta un 25%, lo cual contribuye a una variación de los metales traza en el tejido blando del individuo. Eganhouse y Young, (1978) reportan variación geográfica en la concentración de mercurio en las gónadas del mejillón *M. californianus*. Tres réplicas integrada por siete organismos fuerón homogenizadas. Una alícuota de 1 g de tejido húmedo fué sometida a digestión en tubos de ensaye conteniendo 3 ml de una mezcla 2:1 de H_2SO_4 : HNO_3 concentrado. La muestra fue calentada en un baño maría a 50°C durante un periodo de 3 a 6 horas. Posteriormente fué enfriada en hielo, agregándose 6 ml de $KMnO_4$ al 6% hasta alcanzar una coloración púrpura. La muestra fué colocada en refrigeración durante la noche. Al día siguiente, se agregó 3 ó 4 gotas de H_2O_2 frío al 30% hasta clarificar la solución y enseguida se tituló con $KMnO_4$ lo cual garantizó un mayor grado de oxidación. El mercurio se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica en vapor (espectrofotómetro Perkin Elmer Mod. 305 B, equipado con una celda de ventanas de cuarzo) empleando el método de la jeringa descrito por Stainton, (1971).

d) Análisis estadístico. Para examinar el grado de variación espacial, temporal y la

al. (1979) and Orren *et al.*, (1980) found that differences in food availability and physico-chemical conditions of the water can affect the metal levels in bivalves, therefore it is important that sampling should be made during upwelling and during not upwelling periods, to try to detect differences in the soft tissue of the mussel.

In each station 25 *M. californianus* mussels (size 40-58 mm) were sampled from rocky substrata at main tide level, and transported to the laboratory for their analysis. Superficial water samples were taken in each station for salinity analysis (g/kg) (Salinometer-conductimeter) in laboratory; a main value of 34.41% with values between 34.22% and 34.65% was found.

c) Analytic Method. 21 mussels were defreezed and dissected separating the gonads and visus. Oullette (1978) shows that the gonadal volume fluctuates with the seasons and may affect the adult weight with variations of 25% which affects the trace metals concentrations in the soft tissue of the individual. Eganhouse and Young (1978) found variations of the geographic concentration of mercury in mussel gonada of *M. californianus*. Three replica of seven organisms were homogeneized. An aliquota of wet tissue was subjected to digestion in test tubes with 3ml of a 2:1 mixture of H_2SO_4 : HNO_3 . The sample was warmed in a water bath at 50°C during 3 to 6 hours. Later the sample was cooled in ice adding 6ml of $KMnO_4$ until a purple coloration was obtained. The sample was refrigerated during the night. Next day, 3 or 4 drops of cold H_2O_2 at 30% were added until the solution was clear, and later it was titrated with $KMnO_4$, which assured a high degree of oxidation. Mercury was determined using spectrophotometric atomic absorption of cold vapor (spectrophotometer Perkin Elmer Mod. 305B, equipped with quartz-windows cell) using the syringe method described by Stainton (1971).

d) Statistical analysis. In order to test the spatial variation degree, the temporal variation degree and the statistical significance between mercury concentration averages, the size. The wet weight without

significación estadística entre las medias de la concentración de mercurio, la talla, el peso húmedo sin gónadas y la materia seca de carne drenada, se realizaron análisis paramétricos de varianza de una y dos vías y pruebas de honestidad de Tukey (Sokal y Rohlf, 1969). Previo a estos análisis, se hicieron las pruebas de bondad de ajuste de X^2 de Pearson y Kolmogorov-Smirnov para todas las variables. A excepción del mercurio, el resto de las variables presentaron una distribución normal para $P < 0.05$, y una varianza homogénea según la prueba de Bartlett (Snedecor y Cochran, 1974). Con el propósito de estabilizar la varianza de las concentraciones de mercurio, se procedió a transformar los datos originales a la función $\log_{10} X_i$, lográndose así, la normalización de los mismos. Para conocer el grado de relación entre las variables se realizaron análisis de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSION

a) Variación temporal y geográfica de las características biométricas.

En la Tabla II, se describe la variación temporal de las características biométricas en el mejillón *M. californianus*. Los organismos colectados presentaron un rango de tallas de 40 a 58 mm. Encontrándose la menor talla en Punta Banda y la mayor en Popotla y Baja Mar. A excepción de Punta China y Eréndira, en las localidades restantes, la variación de la talla debido al mes de colecta fue significativa al nivel de $P < 0.05$ con valores de F de 3.8 a 28.4. Con respecto al peso húmedo sin gónada, se encontró un rango de 1.55 a 3.36 g, siendo el menor en Punta Banda y el mayor en Eréndira. En relación a la variación debida al mes fue significativa al nivel de $P < 0.05$ con valores de F de 4.99 a 9.92 en Popotla, Baja Mar, Punta Banda y San Quintín. La materia seca de carne drenada presentó un rango de 0.145 a 0.216 g g^{-1} , el menor en Punta China y el mayor en Punta Bandera. La variación debida al mes fue significativa al nivel de $P < 0.05$ con valores de F de 6.67 a 11.94 en Punta Bandera y Baja Mar.

En la Tabla III, se señala la variación espacial de las características biométricas.

gonads and the dry matter of drained flesh, parametric variance analysis of one and two ways were made, and honesty tests of Tukey (Sokal and Rohlf, 1969). Previously, Pearson and Kolmogorov-Smirnov X^2 goodness of fit tests were made for all variables. Excepting mercury, all variables show a normal distribution with $P < 0.05$, and a homogeneous variance according to Bartlett test (Snedecor and Cochran, 1974). To try to stabilize the mercury concentration variance, the original data were transformed to $\log_{10} X_i$ function, thus normalizing them. Pearson correlation analysis were made to find the relation degree between the variables.

RESULTS AND DISCUSSION

a) Temporal and geographic variations of the biometric characteristics.

In Table II we describe the temporal variation of the biometrical characteristics of the mussel *M. californianus*. Sampled organisms showed sizes from 48 to 58 mm. The smallest size was found in Punta Banda and the largest one in Popotla and Baja Mar. Excepting Punta China and Eréndira, size variations with respect to the season were significant at $P < 0.05$ level with F values of 3.8 to 28.4. As for the wet weight without gonada, we found variations from 1.55 to 3.36g the minor being in Punta Banda and the major in Eréndira. Respecting the variation with the month, it was significant at $P < 0.05$ level with F values of 4.99 to 9.92 in Popotla, Baja Mar, Punta Banda and San Quintin. Drained flesh dry matter varies from 0.145 to 0.216 $g \cdot g^{-1}$, the minor in Punta China and the major in Punta Bandera. The variation with the month was significant at $P < 0.05$ level with F values of 6.67 to 11.94 in Punta Bandera and Baja Mar.

In Table III we show spatial variations of the biometrical characteristics. Size variation by sample along each sampled month was significant at $P < 0.05$ level with F values of 5.56 to 9.97 in February and July (observing in this month the highest V.C.%). The wet weight variation was significant with $P < 0.05$ and F values of 10.46 and 3.67 in April and July with higher V.C.% values. Dry matter variation was significant at mentioned

TABLA II. Variación temporal de las características biométricas del mejillón *Mytilus californianus* empleados en este estudio. Los valores de F corresponden al análisis de varianza entre meses. Las medias de una misma columna vertical que tengan letras iguales suscritas no son significativamente diferentes a P>0.05.

TABLE II. Temporal variation of the biometrical characteristics of *Mytilus californianus* mussel used in this study. F values correspond to the analysis of variance between localities.

Values in one vertical column with equal subscribed letters are not significantly different with P>0.05.

F	PUNTA BANDERA			POPOTLA			BAJA MAR			PUNTA BANDA		
	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹
FEBRERO	5.3*	n.s.	6.67*	8.19*	5.66*	n.s.	11.01*	4.99*	11.94*	28.4*	6.71*	n.s.
ABRIL	52a	3.20	0.180a	58	3.06a	0.200	58b	2.18ab	0.146a	51a	3.14a	0.181
JULIO	51a	2.78	0.183a	49a	1.96ab	0.162	51ac	1.89a	0.159a	53a	3.61a	0.173
SEPT.	45b	2.53	0.216b	49a	2.53ab	0.187	46a	2.05a	0.204b	40	1.55	0.193
	46ab	3.18	0.193ab	51a	2.38ab	0.173	55bc	3.03b	0.173ab	49a	3.13a	0.184
F	PUNTA CHINA			ERENDIRA			PIEDRA BLANCA			SAN QUINTIN		
	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹
FEBRERO	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	3.18*	n.s.	3.81*	n.s.	n.s.	8.2*	9.92*	n.s.
ABRIL	50	2.33	0.190	55	2.62ab	0.196	55b	2.60	0.173	55b	3.23a	0.181
JULIO	52	2.32	0.146	52	3.36a	0.177	51ab	2.58a	0.174	50ab	2.00bc	0.162
SEPT.	46	2.33	0.172	51	2.40b	0.176	53ab	2.67	0.178	46a	1.76b	0.151
	51	2.73	0.145	50	2.86ab	0.192	49a	3.13	0.172	49a	2.75ac	0.164

TABLA III. Variación espacial de las características biométricas del mejillón *Mytilus californianus* empleados en este estudio. Los valores de F corresponden al análisis de varianza entre localidades. Las medias de una misma columna vertical que tengan letras iguales suscritas no son significativamente diferentes a P>0.05.

TABLE III. Spacial variation of the biometrical characteristics of *Mytilus californianus* mussel used in this study. F values correspond to analysis of variance between localities. Values in one vertical column with equal subscribed letters are not significantly different with P>0.05.

F	FEBRERO			ABRIL			JULIO			SEPTIEMBRE		
	5.56*	n.s.	n.s.	n.s.	10.46*	n.s.	7.97*	3.67*	12.3*	n.s.	n.s.	8.30*
	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹	Talla (mm)	Peso húmedo sin gónada (g)	Materia seca de carne drenada g g ⁻¹
PUNTA BANDERA	52ab	3.18	0.180	51	2.78ac	0.183	44ac	2.53a	0.216b	46	3.18	0.193c
POPOTLA	58a	3.06	0.200	49	1.96a	0.162	49ab	2.53a	0.187c	51	2.38	0.178ac
BAJA MAR	58a	2.18	0.146	51	1.89a	0.159	46abc	2.05ab	0.204cb	55	3.03	0.173abc
PUNTA BANDA	51b	3.14	0.181	53	3.61b	0.173	40c	1.55b	0.193cb	49	3.13	0.184ac
PUNTA CHINA	50b	2.33	0.190	52	2.32a	0.146	46abc	2.38ab	0.172ac	51	2.73	0.145b
ERENDIRA	55ab	2.62	0.196	52	3.36bc	0.177	52ab	2.40ab	0.176ac	50	2.86	0.192ac
PIEDRA BLANCA	55ab	2.60	0.173	51	2.58ac	0.174	53b	2.67a	0.178ac	49	3.13	0.172ab
SAN QUINTIN	55ab	3.23	0.181	50	2.00a	0.162	46ac	1.76ab	0.151a	49	2.75	0.164ab
PROMEDIO	54	2.79	0.180	51	2.56	0.167	47	2.23	0.184	50	2.89	0.175
RANGO	50-58	2.18-3.23	0.146-0.200	49-53	1.89-3.36	0.146-0.183	40-53	1.55-2.67	0.151-0.216	46-55	2.38-3.18	0.145-0.193
CV%	5	14	9	2	25	7	9	18	11	5	9	8

* P<0.05

La variación de la talla debida al lugar de colecta durante cada uno de los meses de muestreo, resultó significativa al nivel de P 0.05 con valores de F de 5.56 a 9.97 durante febrero y julio (observándose en este mes el mayor C.V. %). La variación del peso húmedo fué significativa a una P 0.05 con valores de F de 10.46 y 3.67 en abril y julio con C.V.% mayores. Con respecto a la variación de la materia seca fué significativa al nivel señalado con valores de F de 12.3 a 8.30 en julio y septiembre.

levels with F values of 12.3 to 8.30 in July and September.

b) Temporal and geographic variations of mercury

In figure I we show total mercury concentrations in a regional level, measured in *M. californianus*. The results show two standards in biological availability of mercury. The first one in the northern zone, from Mexico-U.S.A.

b) Variación temporal y geográfica de mercurio

En la fig. 1 aparecen las concentraciones de mercurio total a nivel regional medidas en *M. californianus*. Los resultados muestran dos patrones de conducta en la disponibilidad biológica de mercurio. El primero, en la parte norte comprendida de la frontera México-E.U.A., a Punta Banda (Ensenada) con un rango de concentración de 0.27-0.44 $\mu\text{g g}^{-1}$ (similar al reportado por otros investigadores para la misma especie del sur de California, E.U.A.), Stephenson *et al.* (1979). El segundo, en la parte sur, comprendida entre Punta Banda y San Quintín (zona alejada de asentamientos importantes) con un rango de concentración dos veces mayor al medido en la parte norte.

En la fig. 2 se muestra el comportamiento temporal de las concentraciones de mercurio en los mejillones. Observándose en la parte norte las mayores concentraciones

international border to Punta Banda (Ensenada) with a concentration range of 0.27-0.44 $\mu\text{g g}^{-1}$, similar to the one reported by other investigators for the same species of the southern of California, U.S.A., Stephenson *et al.* (1979). The second one, in the southern zone, from Punta Banda to San Quintín (off important human settlements) with a concentration twice the one measured in the northern zone.

In Fig. 2, the temporal variation in mercury concentration in mussels is shown. The highest concentrations in the north zone was in February and in the south zone it was in April and July. Concerning geographic variations, the highest concentrations of mercury were in San Quintín, Punta China and Erendira (1.89, 1.69 and 0.935 $\mu\text{g g}^{-1}$ dry weight), during April and July respectively (Fig. 3). Temporally and geographically in San Quintín, Piedra Blanca and Erendira the lowest mercury concentrations were found in September (0.030, 0.056 and 0.069 $\mu\text{g g}^{-1}$).

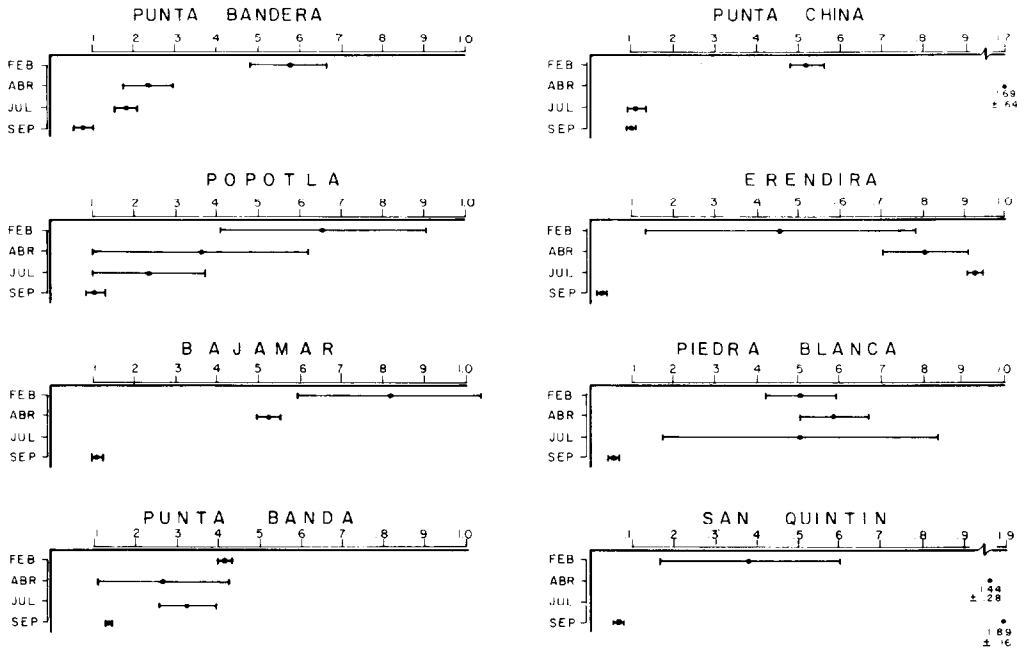


Fig. 2. Variación temporal de mercurio en $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco en el mejillón *Mytilus californianus*. Los puntos representan las medias, las líneas horizontales los I.C. al 95%.
Temporal variation of mercury in $\mu\text{g g}^{-1}$ of dry weight in the mussel *Mytilus californianus*. the dots represent averages values, the horizontal lines represent the C.I. at 95%.

durante febrero y en la parte sur durante abril y julio. En relación al comportamiento geográfico, en la figura 3 se observan las mayores concentraciones de mercurio en San Quintín, Punta China y Eréndira (1.89, 1.69 y 0.935 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) durante los meses de abril y julio respectivamente. (Temporal y geográficamente, en San Quintín, Piedra Blanca y Eréndira se encontraron menores concentraciones de mercurio durante el mes de septiembre (0.030, 0.056 y 0.069 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Varios autores, señalan que el comportamiento temporal y geográfico de las concentraciones de mercurio y otros metales en organismos bivalvos es explicado por la variación de factores interactuantes extrínsecos (patrón de corriente, proceso de mezcla, surgencias, productividad, lluvias) e intrínsecos (peso) a estos bivalvos (Bryan; 1973; Fowler y Oregioni, 1976; Phillips, 1980; Boyden y Phillips, 1981; Farrington *et al.*, 1983). Las mayores concentraciones de mercurio, observadas de la región de Punta Banda a San Quintín, pueden estar asociados a que ocurren intensos fenómenos de surgencia, que aportan a la superficie aguas ricas en nutrientes y metales traza (en Huntsman y Sunda, 1980). Fenómeno que pudo influir en una mayor disponibilidad biológica de mercurio durante los meses de abril y julio. Flegal *et al.* (1981), atribuyen los niveles altos de mercurio en *M. californianus* colectados en las costas del sur de California (Islas San Miguel y Punta Concepción, sitios lejanos de aportes antropogénicos del metal) a los excrementos de mamíferos y aves marinas los cuales contaminan los niveles tróficos inferiores.

Bryan (1973), encontró que la concentración de metales traza en *Pecten maximus* y *Chlamys opercularis* fué inversamente proporcional a la productividad de fitoplancton, debido a un fenómeno de dilución del metal por unidad de masa celular. Wallace *et al.* (1982), encontró que el tiempo de residencia del mercurio en la columna de agua es inversamente proporcional a la tasa de producción primaria. Fowler *et al.* (1978) observaron en *Mytilus galloprovincialis*, un aumento en la tasa de eliminación de mercurio inorgánico al incrementarse la tempe-

Some authors mention that temporal and geographic variations of mercury and other metals concentration in bivalves can be explained by the variation of external interacting factors (current circulation, blending process, upwellings, productivity, rain) and internal ones (weight) (Bryan, 1973; Fowler and Oregioni, 1976; Phillips, 1980; Boyden and Phillips, 1981; Farrington *et al.*, 1983). The highest mercury concentrations observed from Punta Banda to San Quintin can be associated to intense upwelling phenomena, which bring to the surface waters rich in nutrients and trace metals (in Huntsman and Sunda, 1980). This phenomenon could have an influence for a higher biological availability of mercury during April and July. Flegal *et al.* (1981) attributes the high mercury values in *M. californianus*, collected in Southern California coast (Isla San Miguel and Punta Concepción, situated far from anthropogenic contribution of this metal) to faecal faeces of marine mammals and birds, which pollute the lower trophic levels.

Bryan (1973) found that trace metals concentration in *Pecten maximus* and *Chlamys opercularis* was inversely proportion to phytoplankton productivity, due to a dilution phenomenon of the metal by cellular mass unit. Wallace *et al.* (1982) found that the time of residence of the mercury in the water column is inversely proportional to the primary productivity rate. Fowler *et al.* (1978) observed in *Mytilus galloprovincialis* an increase in inorganic mercury elimination rate when the temperature increases. These results could bring some elements for the explanation of the low mercury concentrations found during September. (Fig. 2 and 3).

The terrigenous mercury mineral transport into the coast during rain time in 1982 (SARH, pers. comm.) could explain the geographic non significant differences in the mercury concentration during February (Fig. 3).

In the Table IV we show the Pearson's correlation coefficients between mercury concentration and: size, wet weight without gonada, dry weight/wet weight ratio and

DISPONIBILIDAD BIOLÓGICA DE MERCURIO EN LAS AGUAS

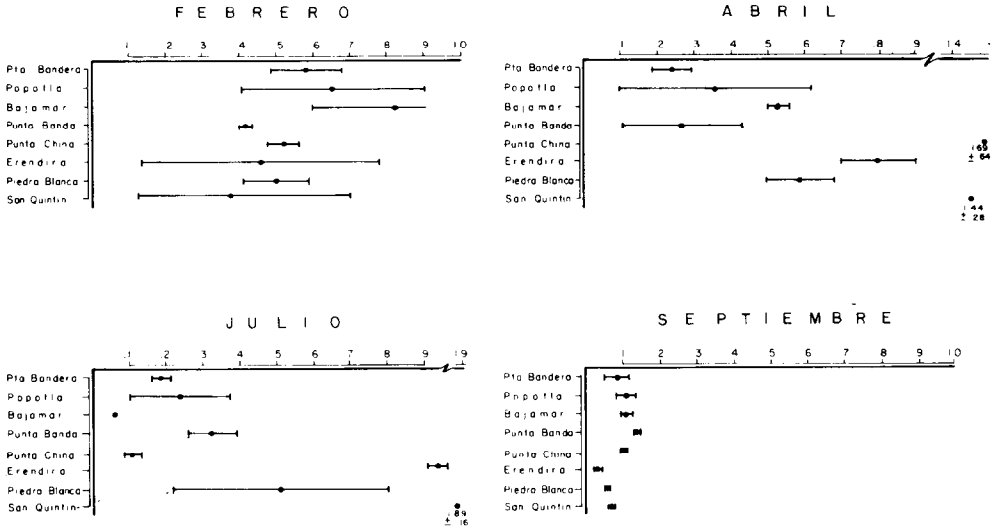


Fig. 3. Variación geográfica de mercurio en $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco en el mejillón *Mytilus californianus*. Los puntos representan las medias, las líneas horizontales los I.C. al 95%.
 Geographical variation of mercury in $\mu\text{g g}^{-1}$ of dry weight in the mussel *Mytilus californianus*. Dots represent average values and horizontal lines represent the C.I. at 95%.

ratura. Los resultados de estas investigaciones podrían aportar elementos para la explicación de las menores concentraciones de mercurio, detectadas durante septiembre (Figura 2 y 3).

El transporte de material terrígeno de minerales de mercurio hacia la costa durante la época de mayor precipitación pluvial durante 1982 en la región (SARH, comunicación personal), podría explicar las diferencias geográficas no significativas de la concentración de mercurio registradas durante el mes de febrero (Figura 3).

En la Tabla IV, se muestran los coeficientes de correlación de Pearson entre la concentración de mercurio con los factores: talla, peso húmedo del organismo sin gónada, relación peso seco/peso húmedo y temperatura del agua durante la colecta de los organismos. A excepción de la talla, los coeficientes entre los factores restantes y la

water temperature during the organism sampling. Excepting size, all coefficients between the other factors and mercury concentration were negative and significant with $P < 0.05$. Some papers (Fowler *et al.*, 1978; Stphenson *et al.*, 1979; Boyden and Phillips, 1981; Gault *et al.*, 1983) have found that these factors contribute to the total variation in metal concentration in bivalves. However those low correlation coefficients indicate the possible existence of other factors that contribute substantially to the mercury variation in the mussels of this region.

In Table V we show a comparison of mercury concentration of soft tissue of *Mytilus* spp. in different geographic areas. Metal levels in the collected mussels in the region were 3 to 12 times lower than the permitted level in some countries ($0.05 \mu\text{g g}^{-1}$ wet weight) for human use.

concentración de mercurio fueron negativos y significativos a $P < 0.05$. Diversos autores (Fowler *et al.*, 1978; Stephenson *et al.*, 1979; Boyden y Phillips, 1981; Gault *et al.*, 1983), han encontrado que estos factores contribuyen a la variación total de la concentración de metales en organismos bivalvos. Sin embargo, estos bajos coeficientes de correlación, indican la posible existencia de otros factores que contribuyen de manera sustancial a la variación de mercurio en los mejillones de esta región.

TABLA IV. Coeficientes de correlación de Pearson entre la concentración de mercurio, variables biométricas y temperatura de agua superficial.

TABLE IV. Pearson's correlation coefficient between mercury concentrations, biometric variables and surface water temperature.

FACTOR	CONCENTRACION De Hg
Talla	0.13 n.s.
Peso húmedo sin gónada	- 0.38 *
Peso seco/peso húmedo	- 0.47 *
Temperatura del agua	- 0.50 *

$g.l = 30$

$r_{0.05} = 0.349$

n.s. = no significativo

En la Tabla V, se muestra una comparación de concentración de mercurio en tejido blando de *Mytilus* spp. en diferentes áreas geográficas. Los niveles del metal en los mejillones colectados en la región, fue de 3 a 12 veces menor al nivel permitido en algunos países ($0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo) para el consumo humano.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro respeto al Dr. Katsuo Antonio Nishikawa-Kinomura por sus sugerencias y su gran impulso para implementar estudios de este tipo en Baja California.

Al Departamento de Caza y Pesca de California, E.U.A., (State Mussel Watch, California, E.U.A. Department of Fish and Game) y sus investigadores Dr. Michael Martin y M.C. Mark Stephenson por su interés en participar con nuestra Institución a través de un convenio de colaboración para desarrollar estudios referentes al conocimiento de la contaminación costera en

ACKNOWLEDGEMENTS

Our respect to Dr. Katsuo Antonio Nishikawa-Kinomura for his suggestions and for his great interest in the realization of this kind of studies in Baja California.

To the Department of Fish and Game of California, U.S.A., (State Mussel Watch) and Dr. Michael Martin and M.C. Mark Stephenson for their interest to participate with our Institution through a collaboration program to try to determine the coastal pollution in both Californias. We are grateful for the facilities given in the use of their laboratories and the experience exchange.

To Dr. George T. Hemingway, Inter-America Program Coordinator of Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, U.S.A., and his representative Ruth Aileen Dougherty for their interest and financial support for the realization of this work.

Thanks to Mr. Ramon Moreno for the realization of illustrations and to Aracely Melendez C. and Rosa I. Trujillo for the typing of the manuscript.

This work is part of the 84-01-0170 program of the Secretaria de Educación Pública.

Sergio Pou translated this paper into English.

LITERATURA CITADA

- AHSANULLA, M. 1982. Acute toxicity of chromium, mercury molybdenum and nickel to the amphipod *Allorchestes compressa*. Aust. J. Mar-Freshwater Res., 3: 465-74.
- AISSI, A. and D. Siblot. 1980. Etude du lac El-Mellah (Wilaya d'Annaba): les métaux Lourds dans certains organismes. Ves Journées Etud Pollutions, pp. 151-154.
- ALVAREZ-BORREGO J. and S. Alvarez Borrego. 1982. Temporal and Spatial variability of temperature in two coastal lagoons- Calcofi Rep., Vol. XXIII: 188-197.
- AUBERT M., F. Laumond, G. Flatau, M. Barrelli, M. Romeo et D. Puél, 1976. Utilization d'une chaîne trophodynamique marine de type neritique à crustacés pour l'étude du transfert et de l'accumulation de divers polluants métalliques. Rev. Int. Oceanogr. Med. 43: 47-63.
- BAKUN, A. 1973. Coastal upwelling indices, west coast of North America 1964-71. Technical report NMFS SSRF-671 p. 103.
- BARTHALMUS, G.T. 1977. Behavioural effects of mercury on Grass. Shrimp. Mar. Pollut. Bull. 8 (4): 87-90.

DISPONIBILIDAD BIOLÓGICA DE MERCURIO EN LAS AGUAS

TABLE V. Concentración de mercurio en 10^{-6} g g⁻¹ en tejido blando del mejillón *Mytilus* spp. de diferentes áreas geográficas.
 TABLE V. Mercury concentration in 10^{-6} g g⁻¹ in soft tissues of mussel *Mytilus* spp. from different geographic areas.

ORGANISMO	CONCENTRACION	RANGO	REGION DE COLECTA	REFERENCIA
<i>Mytilus edulis</i>		.43 - 1.86(+)	Aguas de Southampton Gran Bretaña.	Raymont, (1982).
<i>Mytilus californianus</i>	.011 *	.009 - .014	Bahía de Todos Santos Baja California, México.	Estudio geográfico de la región de Ensenada, (1974).
<i>Mytilus edulis</i>	.18 *	.06 - .08	Mar del Norte Alemania, Francia.	De Wolf, (1975).
<i>Mytilus edulis</i>	.29 *	.07 - .80	Canal Inglés, Costa de Gran Bretaña.	De Wolf, (1975).
<i>Mytilus edulis</i>	.09 *	.05 - .16	Canal Inglés, Costa de Francia.	De Wolf, (1975).
<i>Mytilus edulis</i>	.16 *	.05 - .29	Costas del Atlántico, Costa de Francia.	De Wolf, (1975).
<i>Mytilus edulis</i>	.23 *	.02 - .48	Costas de Nueva Zelanda.	Nielsen y Nathan, (1975).
<i>Mytilus edulis</i>	.35 +	.16 - .63	Estuario de San Lorenzo, Canadá.	Bourget y Cossa, (1976).
<i>Mytilus edulis</i>	.08 +	.03 - .20	Golfo de Trieste, Italia	Majori, et al., (1976).
<i>Mytilus Californianus</i> (glándula digestiva)		.11 - .18(+)	Costas del sur de California, E.U.A.	Eganhouse y Young, (1976).
<i>Mytilus edulis</i>	.150 *	.63 - .214	Golfo de Saronikos, Grecia.	Grimanis, et al., (1978).
<i>Mytilus gallo provincialis</i>	.24 +	.15 - .38	Golfo de Spezia, Italia.	Capelli et al., (1978).
<i>Mytilus californianus</i>	.30 +	.14 - .43	Royal Palms, Costa de California, E.U.A.	Stephenson, et al., (1979).
<i>Mytilus californianus</i>	.25 +	.14 - .40	La Jolla, California, E.U.A.	Stephenson, et al., (1979).
<i>Mytilus edulis</i>	.077 *	.018 - .170	Costas de Argelia.	Aissi y Siblot (1980).
<i>Mytilus edulis</i>	.10 *	.05 - .46	Aguas de las Costas de Escocia.	Davies y Pirie, (1980).
<i>Mytilus Viridi</i> , (Lin)	.010 +	.01 - .29	Golfo de Tailandia.	Menosveta y Checvapanapiwat, 1981.
<i>Mytilus edulis</i>	.063 *	.004 - .77	Paington al sur de Devon, Inglaterra.	Boalch, Chan y Taylor, 1981.
<i>Mytilus edulis</i>	.93 +	.38 - 2.0	Sorfjorden, Costa Occidental de Noruega.	Julshamn, 1981.
<i>Mytilus edulis</i>	.50 +	.10 - 3.0	Costas del Norte de Irlanda.	Gault et al., (1983).
<i>Mytilus edulis</i>	.35 +	.30 - .50	Costas de Bélgica.	Meeus-Verdine, et al., (1983).
<i>Mytilus edulis</i>	.16 +	.10 - .82	Puerto en la Bahía de Todos Santos, B.C.	Olmos y Flores, en preparación.
<i>Mytilus californianus</i>	.49 +	.27 - .95	Costa noroccidental de B.C., México.	Presente estudio.

(+) en peso seco

(*) en peso húmedo

ambas Californias. Se agradece la disponibilidad de sus laboratorios e intercambio de experiencia.

Al Dr. George T. Hemingway, Coordinador del Programa InterAméricas de la Institución de Oceanografía Scripps, La Jolla, California, E.U.A., y su representante Ruth Aileen Dougherty por su interés y

BERG, W., J. Johnels, B. Sjostrand, B.T. Westermarck, 1966. Mercury content in feathers of swedish birds from the past 100 years. *Oikos*. 17: 71-83.

BOALCH, R.S.; Chan and D. Taylor, D. 1981. Seasonal variation in the trace metal content of *Mytilus edulis*. *Mar. Pollut. Bull* Vol. 12 (8): pp. 276-280.

apoyo económico para la realización de este proyecto de investigación.

Nuestro reconocimiento al Sr. Ramón Moreno por la elaboración de las figuras y a la Srita. Araceli Meléndez C. y Rosa I. Trujillo, por el trabajo de mecanografía. Este trabajo forma parte del convenio 84-01-0170 con la Secretaría de Educación Pública.

LITERATURA CITADA

- BOURGET, E. and D. Cossa. 1976. Mercury Content of Mussels from the St. Lawrence estuary and northwestern gulf of St. Lawrence, Canada. *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 7 (12). pp. 237-239.
- BOYDEN C. R. and D.J.H. Phillips. 1981. Seasonal variation and inherent variability of trace elements in oyster and their implications for indicator studies. *Mar. Ecol.* 5: 29-40.
- BRYAN G. W. 1973. The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximum* (L) and *Chlamys opercularis* (L) *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 53: 145-166.
- 1976. Heavy metal contamination in the sea. en: *Marine Pollution* (R. Johnston, Ed) London: Academic Press, pp. 185-302.
- 1980. Recent trends in research on heavy metal contamination in the sea. *Helgolander Meeresunters* 33: 6-25.
- CALABRESE, A., R.S. Collier, P.A. Nelson, J.R. MacInnes. 1973. The toxicity of heavy metals to embryos of the american oyster, *Cassostrea virginica*. *Marine Biology*, 18: 162-166.
- CAPELLI, R.V. Contardi, B. Fassone, and G. Zanichchi. 1978. Heavy metals in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the gulf of the Spezia and from the promontory of Portofino, Italy. *Mar. Chem.* Vol. 6. pp. 179-185.
- CRAIG, J.P. 1980. Metal cycles and biological methylation. En: *Environmental Chemistry*, Vol. 1, Part A, pp. 169-221. *The Natural Environmental and the Biogeochemical Cycles*. (O. Hutzinger, ed.), Berlin: Springer-Verlag, pp. 169-221.
- DAVIS, I.M. and J.M. Pirie. 1980. Evaluation of a "Mussel Watch" project for heavy metals in Scottish coastal waters. *Mar. Biol.* Vol. 57 pp. 87-93.
- DE COURSEY, P.J. and W.B. Vernberg. 1972. Effect of mercury on survival metabolism and behavior of the larval *Uca pugilator* (Brachyura). *Oikos* 23: 241-247.
- DE WOLF, P. 1975. Mercury Content of Mussels from West European Coast. *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 6(4): 61-63.
- EGANHOUSE, R.P., J.N. Johnson, D.R. Young, D.J. McDermott. 1976. Mercury in southern California waters: inputs, distribution and fate T. M. 227. *SCCWRP Publ.* 57 pp.
- EGANHOUSE, R.P. and D.R. Young. 1976. Mercury in tissues of mussels off southern California. *Mar. Pollut. Bull.* 7: 145-147.
- 1978. In situ uptake of mercury by the intertidal mussel *Mytilus californianus*. *Mar. Pollut. Bull.* 9: 214-227.
- EISLER, R., J. Hennekey. 1977. Acute toxicities of Cd, Cr, Hg, Ni, and Zn to estuarine macrofauna. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 6: 315-323.
- EISLER, R. 1981. Trace metal concentrations in marine organisms. Ed. Pergamon Press. 681 pp.
- FARRINGTON, J.W., E.D. Goldberg, R.W. Risebrough, J.H. Martin, V.T. Bowen, 1983. U.S. Mussel watch 1976-1978: An overview of the trace metal, DDE, PCB, hydrocarbon and artificial radionuclide data. *Environ. Sci. Technol.* 17: 490-496.
- FERNANDEZ, E. y J. R. Aldeco, 1980. *Oceanografía Química*. En Sección mejillón III. Informe 1980-81, Tomo I, cap. 2: 30-188 I.I.O., UABC.
- FLEGAL, A.R., M. Stephenson, M. Martin and J. H. Martin. 1981. Elevated concentrations of mercury in mussels (*Mytilus californianus*) associated with pinniped colonies. *Mar. Biol.* 49: 45-48.
- FOWLER, S.W., B. Oregoni. 1976. Trace metals in mussels from the N.W. Mediterranean. *Mar. Pollut. Bull.* 7(2): 26-29.
- FOWLER, S.W., M. Heyraud and J. La Rosa. 1978. Factors affecting methyl and inorganic mercury dynamics in mussels and shrimp. *Mar. Biol.* 46: 267-276.
- GAULT, N.F.S., E.L.C. Tolland, and J.G. Perker. 1983. Spatial and temporal trends in heavy metals concentrations in mussels from northern Inland Coastal Waters. *Mar. Biol.* Vol. 77. pp. 307-316.
- GOLDBERG, E.D. 1975. The mussel watch-A first step in global marine monitoring. *Mar. Pollut. Bull.* 6(7):1.
- GOLDBERG, E.D., E. Gamble, J.J. Griffin, M. Koide, 1977. Pollution History of Narragansett Bay as recorded in its sediments. *Estuarine and coastal marine science.* 5: 549-61.
- GOLDBERG, E.D., V.T. Bowen, J.W. Farrington, G. Harvey, J.H. Parker, R.W. Risebrough, W. Robertson, E. Schneider, E. Gamble, 1978. The mussel watch. 5:101-125.
- GRIMANIS, A.P.C. Papadopoulos, D. Zafiroopoulos, M. Vassilaki, and N. Tsimenidis. 1978. Pollution monitoring of eleven trace elements in three marine organisms from Saronikos gulf, Greece. *Ives Journees Etud Pollutions*, pp. 233-234.
- GUTIERREZ-GALINDO, E.A., 1981. Effet de l'EDTA Sur l'accumulation et l'élimination du mercure par la moule *Mytilus edulis*. *Chemosphere* 10 (8): 971-976.
- HARRIS, R.C.D.B. White, R.B. Macfarlane. 1970. Mercury compounds reduce photosynthesis by plankton. 170: 736-37.
- HUNTSMAN, S.A. and W.G. Sunda. 1980. The role of trace metals in regulating phytoplankton growth with emphasis on Fe, Mn, and Cu. En: *The Physiological Ecology of Phytoplankton*. Editado por I. Murris, University of California Press.
- JULSHAMN, K., 1981. Studies on major and minor elements in molluscs in Western Norway Fisk. Dr. Skr. Ser. Ernoering. Vol. 1 (5): 267-287.
- MAJORI, L., G. Nedodan, and G.B. Modonutti. 1976. Inquinamento da mercurio nell'alto Adriatico. *Acqua & Aria*. No. 3 pp. 164-172.
- MARTIN, M.K.E. Osborn, P. Billing, N. Glickstein, 1981. Toxicities of ten metals to *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis* embryos and cancer magister. *Mar. Pollut. Bull.*, 12 (9): 305-308.
- MEEUS-VERDINE, K.R., Van Cauter, and R. De Borger, 1983. Trace metal content in Belgian Coastal mussels. *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 14 (5): 198-200.
- MENASVETA, P. and V. Cheevoporamopiwat. 1981. Heavy metals, organochlorine pesticides and PCBs in green mussels, mullerets and sediments of river mouth in thailand. *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 12 (1): 19-25.
- NIELSEN, S.A. and A. Nathan, 1975. Heavy metal levels in New Zeland Molluscs. *N.Z.J. Mar. Freshwater Res.* Vol. 9 (4): pp. 467-481.
- OLMOS Aguilera, T. y G. Flores Muñoz, 1984. Concentración de metales traza en mejillón (*Mytilus edulis*) en la rada del Puerto de Ensenada, Baja California. (en preparación).
- ORREN, M.S., G.A. Eagle, F.K. Henning, A. Green. 1980. Variations in trace metal content of the mussel *Choromythylus meridionalis* (Kr) with season and se. *Mar. Pollut. Bull.* 11: 253-257.
- OUELLETE, T. 1978. Seasonal variation of trace metals and the major inorganic ions in the mussel, *Mytilus californianus*. Master's Thesis, Calif. State Univ. Hayward. pp. 90.

DISPONIBILIDAD BIOLÓGICA DE MERCURIO EN LAS AGUAS

- PHILLIPS, D.J.H. 1980. Quantitative aquatic biological indicators. London: Applied Science, pp. 1-282.
- RAYMONT, J.E.G., 1972. Some aspects of Pollution in Southampton Water. Proc. R. Sa. London B. 180, pp. 451-468.
- SAHA, J.G. 1971. Significance of mercury in the environment. Residue reviews, 6(4): 104-155.
- SECRETARIA DE MARINA. 1974. Estudio Geográfico de la Región de Ensenada, B.C. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, México. D.F. 205-310 pp.
- SNEDECOR, G.W. and E.G. Cochran. 1974. Métodos Estadísticos. Editorial CECSA, México. 703 p.
- SOKAL, R. and F.J. Rohlf, 1969. Biometry. Ed. W.H. Freeman and Co. 776 p.
- STINTON, M. 1971. Syringe procedure for transfer of nanogram quantities of mercury vapor for flameless atomic absorption spectrophotometry. Anal. Chem. 43 (4): 625-627.
- 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.
- STRONGREN, T. 1982. Effect of heavy metals (Zn, Hg, Cu, Cd, Pb, Ni) on the length growth of *Mytilus edulis*. Marine Biology. 72: 69-72.
- TOKUOMI, H. 1971. Aspectos médicos de la enfermedad de Minamata Tribuna médica. 376: 18-19.
- UI, J. 1969. Minamata disease and water pollution by industrial waste. Rev. Int. Oceanogr. Méd. XIII-XIV. 37-44.
- WALLACE, Jr. G.T., D.L. Seibert, S.M. Holzknecht and W.H. Thomas. 1982. The biogeochemical fate and toxicity of mercury in controlled experimental ecosystems. Estuar. Coastal and Shelf Sci. 15: 151-182.