

**DISTRIBUCION DE METALES PESADOS EN LA
COSTA OCCIDENTAL DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA,
USANDO *Mytilus californianus* COMO ORGANISMOS CENTINELAS**

**DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE WESTERN COAST
OF THE PENINSULA OF BAJA CALIFORNIA,
USING *Mytilus californianus* AS SENTINEL ORGANISMS**

Héctor Ernesto Reynoso Nuño ¹
Adriana Jorajuria ²

¹ Centro de Investigaciones de Quintana Roo, A.C. (CIQRO)
Apdo. Postal 886, Cancún, Q.ROO
México 77500

² Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada (CICESE)
Apdo. Postal 2734, Ensenada, B.C., México

Reynoso Nuño, H.E. y Jorajuria, A. Distribución de metales pesados en la costa occidental de la Península de Baja California, usando *Mytilus californianus* como organismos centinelas. Distribution of Heavy Metals in the Western Coast of the Peninsula of Baja California, Using *Mytilus californianus* as Sentinel Organisms. Ciencias Marinas 14(4): 101-116, 1988.

RESUMEN

Durante el mes de septiembre de 1981 se realizó un muestreo en las poblaciones autóctonas del mejillón *Mytilus californianus* para analizar metales pesados (Ag, Cd, Cu, Cr, Zn, Pb, Al y Mn) en las localidades de Eréndira, Punta Baja, Sta. Rosalíta y Punta Abrejos, todas localizadas en la Península de Baja California. Junto con este muestreo, se transplantaron mejillones procedentes de Bodega Bay, California, EUA, que fueron depositados por seis meses en Isla de Todos Santos y San Quintín, BC. Los datos obtenidos, tanto en poblaciones naturales como de transplantes, se compararon con los resultados del State Mussel Watch (SMW) del mismo año. Los resultados muestran que las poblaciones de mejillones de Baja California y en especial Punta Abrejos, presentan condiciones altamente pristinas. Las concentraciones resultaron ser mucho menores en la mayoría de los metales que en Bodega Bay California, EUA, localidad considerada por el SMW como referencia de un lugar no afectado por la contaminación.

De los resultados del trasplante de San Quintín se concluye que en esta localidad no hay acumulaciones significativas de metales característicos de contaminación (como Ag, Cr, Cu, y Pb); más bien son evidentes concentraciones de origen terrígeno (Mn y Al), las cuales son producto de la gran remoción de sedimentos ocasionada por vientos y mareas.

ABSTRACT

During September 1981 the autochthonous populations of the mussel *Mytilus californianus* were sampled, in order to analyse heavy metals (Ag, Cd, Cu, Cr, Zn, Pb, Al and Mn), in the sites of Eréndira, Punta Baja, Santa Rosalíta and Punta Abrejos, all located in the Peninsula of Baja California. At the same time, mussels were transplanted from Bodega Bay, California, USA, and deposited for six months in the Todos Santos Island and in San Quintín, B.C. The data obtained from the natural populations as well as the transplants are compared to the results of the

State Mussel Watch (SMW) for the same year. The results show that the mussel populations of Baja California, especially of Punta Abreojos, present highly pristine conditions and that the concentrations were much lower in most of the metals than in Bodega Bay, California, USA, which is considered by the SMW to be representative of a site not affected by contamination.

From the results of the San Quintín transplant, it is inferred that in this site there are no significant accumulations of metals which are characteristic of contamination (such as Ag, Cr, Cu and Pb), but rather that the concentrations are clearly of a terrigenous origin (Mn and Al) which are the product of the large-scale removal of sediments caused by winds and tides.

INTRODUCCION

La Península de Baja California se encuentra entre los 23° y 32° de latitud Norte y entre los 110° y 115° de longitud Oeste. Esta zona es una de las más ricas del mundo desde el punto de vista pesquero; lo cual se debe a la abundancia de lagunas costeras (Alvarez Borrego y Chee Barragán, 1976), así como de los procesos de surgencias que son muy comunes a lo largo de toda la Península (Bakun y Nelson, 1975).

Es notorio que las costas de esta zona presentan aún condiciones pristinas, debido a que la contaminación antropogénica es prácticamente nula (Goldberg, 1979).

Desde luego existen excepciones, en particular los grandes centros poblacionales de Tijuana y Ensenada en la costa Oeste, así como Santa Rosalía y La Paz en la parte correspondiente al Golfo de California. En la parte Norte en la frontera con EUA se encuentra la Cuenca de California, la cual está adjunta al centro poblacional e industrial más populoso de la costa Oeste del Continente Americano (Goldberg, 1979). En dicha cuenca existen cinco grandes descargas municipales que introducen volúmenes considerables de contaminantes. De acuerdo a Schafer, (1980) en 1979 se depositaron en toneladas métricas por año 42.2 de plata (Ag), 42.3 de cadmio (Cd), 237 de cromo (Cr), 359 de cobre (Cu), 223 de plomo (Pb) y 724 de zinc (Zn).

Si aunado a estas descargas tenemos la presencia de la Corriente de California con un flujo permanente norte-sur y la presencia de algunos vórtices o remolinos (Hickey, 1979), entonces se puede entender la existencia de un problema potencial de contaminación por acarreo de contaminantes en las costas de Baja California.

INTRODUCTION

The Peninsula of Baja California is located between latitude 23° and 32° North and longitude 110° and 115° West. This is one of the world's richest areas from a fishing point of view, because of the abundance of coastal lagoons (Alvarez Borrego and Chee Barragán, 1976) as well as the upwelling processes which are very common along the length of the Peninsula (Bakun and Nelson, 1975).

It is well-known that the coasts of this area still present pristine conditions, since the anthropogenic contamination is practically nonexistent.

Naturally there are exceptions, particularly the large population centres of Tijuana and Ensenada on the western coast as well as Santa Rosalía and La Paz on the Gulf of California. The California Basin is located in the northern part on the border with the USA, and is adjacent to the most industrial and densely populated area on the western coast of the American Continent (Goldberg, 1979). There are five large municipal discharges in this Basin, which introduce a considerable volume of pollutants. According to Schafer (1980), in 1979 the following were deposited in metric tons per year: 42.2 of silver (Ag), 42.3 of cadmium (Cd), 237 of chromium (Cr), 359 of copper (Cu), 223 of lead (Pb) and 724 of zinc (Zn).

If to this we add the presence of the California Current with a permanent north-south flow and the presence of some vortices or whirlpools (Hickey, 1979), then it is possible to understand the existence of the potential problem of contamination by the carrying of pollutants in the coasts of Baja California.

El destino final de estos elementos antropogénicos es desconocido. Katz y Kaplan (1981) reportaron concentraciones de algunos metales pesados en sedimentos del Sur de California, EUA. Según estos autores, el transporte es a través de las costas y la plataforma continental. Esto se efectúa asociado a partículas de materia orgánica y sedimentos en suspensión, los cuales se forman en las descargas mismas.

El análisis de metales pesados es de gran interés porque revela la presencia de contaminación industrial (Goldberg, 1979 y Stephenson *et al.*, 1979) y eventos de surgencias costeras (Martin *et al.*, 1976 y Ovellete, 1978).

Para llevar a cabo los análisis de metales pesados en el medio marino se ha escogido el uso de organismos centinelas que tengan la característica de bioacumular estos elementos; además, que sean capaces de integrar la concentración del medio ambiente a través del tiempo (Brooks y Rumsby, 1965; Pringle *et al.*, 1968 y 1973, y Phillips, 1976); asimismo, es necesario que posean una distribución a nivel mundial (Brooks y Rumsby, 1965).

El uso de mejillones del género *Mytilus* como bioindicadores ha permitido en la actualidad satisfacer la necesidad de cubrir grandes áreas geográficas y así tener mayor comprensión de la contaminación marina (Fowler y Oregoni, 1976). El programa "National Mussel Watch" (NMW), iniciado por Goldberg (1975) en EUA, está enfocado a cumplir este objetivo, extendiéndose posteriormente a nivel internacional como "International Mussel Watch" (IMW) (Stephenson *et al.*, 1979).

Goldberg (1975) planteó la necesidad de emprender un muestreo continuo en ambas costas de EUA, y así, en las de California se estableció el "State Mussel Watch of California" (SMW) (Stephenson *et al.*, 1979). Este programa ha llevado muestreos intensivos a lo largo de la costa en una serie de 32 estaciones, las cuales han sido muestreadas desde 1977 hasta el presente año (Stephenson, *et al.*, 1979 y 1980).

The final destination of these anthropogenic elements is unknown. Katz and Kaplan (1981) reported concentrations of some heavy metals in sediments of southern California, USA. According to these authors, the transport is through the coasts and continental platform. This occurs in association with particles of organic matter and suspended sediments, which are formed in the discharges themselves.

The analysis of heavy metals is of great interest because it reveals the presence of industrial pollution (Goldberg, 1979; Stephenson *et al.*, 1979) and coastal upwelling events (Martin *et al.*, 1976; Ovellete, 1978).

In order to carry out the analysis of heavy metals in the marine environment, it was decided to use sentinel organisms which have the ability to bioaccumulate these elements as well as the capacity to integrate the concentration from the environment with time (Brooks and Rumsby, 1965; Pringle *et al.*, 1968; Phillips, 1976). It is also necessary for them to have a world-wide distribution (Brooks and Rumsby, 1965).

The use of mussels of the *Mytilus* genus as bioindicators has at the present time satisfied the need of covering large geographical areas and thus permitted a better understanding of marine pollution (Fowler and Oregoni, 1976). The National Mussel Watch (NMW) program, initiated by Goldberg (1975) in the USA, began with this objective in mind and it was later extended to become the International Mussel Watch (IMW) (Stephenson *et al.*, 1979).

Goldberg (1975) brought up the need of undertaking a continuous sampling in both coasts of the USA and thus, the State Mussel Watch of California (SMW) was established (Stephenson *et al.*, 1979). This program has carried out intensive samplings along the California coast in a series of 32 stations, which have been sampled since 1977 to the present year (Stephenson *et al.*, 1979 and 1980).

Sin embargo, estudios de este tipo en el área sur que corresponde al lado mexicano han sido muy pocos. Así, Vidal y Acosta (1976) analizaron Cu y Zn en 11 estaciones comprendidas entre la frontera con EUA, y la Bahía de Todos Santos, BC. Sin embargo, el resto de la Península y otros metales de importancia no fueron estudiados. Nishikawa (Comunicación personal, *pre mortem*) obtuvo datos aislados de concentraciones de Cd y Zn en las áreas de Punta Abreojos y San Quintín, BC. Chow *et al.* (1976) realizaron muestreos con *Mytilus californianus* y *M. edulis* a lo largo de las costas de California, EUA, y Baja California, México. Estos autores muestran que hay una correlación muy estrecha entre las altas concentraciones de plomo y los grandes centros poblacionales.

Por otro lado, la importancia del Cd, en los ciclos biogeoquímicos de las aguas de Baja California, ha sido demostrada por varios investigadores en análisis hechos a muestras de agua de mar y plancton (Martin y Broenkow, 1975; Martin *et al.*, 1976, y Knaver y Martin, 1981). Estos investigadores encontraron una relación muy estrecha entre los procesos que envuelven la regeneración de fosfatos y nitratos con las concentraciones del Cd en el medio ambiente marino. Asimismo concluyeron que el microplancton de la costa sur de Baja California posee la capacidad de bioacumular cadmio en cantidades mayores que las comunidades planctónicas de la costa de California, EUA. Este proceso es independiente de los fenómenos de surgencias y de las descargas industriales (Knaver y Martin, 1981). Sin embargo, una relación de estos procesos, usando moluscos bioindicadores del género *Mytilus*, no ha sido realizada hasta ahora.

Los objetivos de este trabajo son: a) Determinar los niveles de concentración de metales pesados (Ag, Cd, Cu, Zn, Cr, Al, Pb y Mn) en las poblaciones autóctonas del mejillón *Mytilus californianus* en la parte oeste de la Península de Baja California; b) Evaluar a que grado los mejillones transplantados en las bahías, dársenas y esteros (donde no hay poblaciones naturales) acumulan metales característicos de contaminación, surgencias, origen terrígeno, etc.; y por último, c) com-

However, only few similar studies have been carried out in the southern area on the Mexican side. Vidal and Acosta (1976) analysed Cu and Zn in 11 stations located between the border with the USA and the Todos Santos Bay, B.C. Nevertheless, studies were not undertaken in the rest of the Peninsula or on other important metals. Nishikawa (personal communication, *pre mortem*) obtained isolated data of concentrations of Cd and Zn in the areas of Punta Abreojos and San Quintín, B.C. Chow *et al.* (1976) carried out samplings with *Mytilus californianus* and *M. edulis* along the length of the coasts of California, USA, and Baja California, Mexico. These authors show that there is a very close correlation between the high concentrations of lead and the large population centres.

On the other hand, several authors have shown the importance of Cd in the biogeochemical cycles of the Baja California waters in analyses carried out on seawater and plankton (Martin and Broenkow, 1975; Martin *et al.*, 1976; Knaver and Martin, 1981). These authors found a close relation between the processes which involve the regeneration of phosphates and nitrates with the concentrations of Cd in the marine environment. Also, they concluded that the microplankton in the southern coast of Baja California, has the ability to bioaccumulate cadmium in greater quantities than the planktonic communities of the coast of California, USA. This process is independent of the upwelling phenomena and of industrial wastes (Knaver and Martin, 1981). However, a relation of this process using bioindicator molluscs of the *Mytilus* genus, has not been carried out to date.

The objectives of this study are: a) to determine the levels of concentration of heavy metals (Ag, Cd, Cu, Zn, Cr, Al, Pb and Mn) in the autochthonous populations of the mussel *Mytilus californianus*, in the western part of the Peninsula of Baja California; b) to evaluate up to what degree the mussels transplanted in the bays, harbours and estuaries (where there are no natural populations), accumulate metals which are characteristic of contamination, upwellings, terrigenous origin, etc., and lastly, c) to compare the two zones (California, USA, vs. Baja California) in order

parar las dos zonas (California, EUA, vs Baja California) para detectar diferencias entre las concentraciones de metales característicos de contaminación (Ag, Cu y Pb), surgencias (Cd y Zn) y de origen terrígeno (Al, Mn y Cr).

MATERIALES Y METODOS

Durante el mes de septiembre de 1981 se llevó a cabo el muestreo de la costa de Baja California, y durante el mes de enero de 1982 se realizó el de California, EUA. La distribución de las estaciones se aprecia en la Tabla I, de las cuales ocho fueron de poblaciones autóctonas y siete fueron trasplantes. Estos últimos consistieron en mejillones traídos desde Bodega Bay, California, EUA, los cuales fueron colocados en bahías y dársenas donde no existen las poblaciones naturales. Los datos de California fueron gentilmente proporcionados por Stephenson (comunicación personal) y sólo se facilitaron las medias y desviaciones típicas, no así los datos biométricos. Los trasplantes fueron colocados en un sistema de flotadores descrito por Stephenson *et al.* (1980). Estos se dejaron en cada lugar un promedio de seis meses.

El muestreo y análisis se realizó conforme a la metodología empleada por el SMW (Stephenson *et al.*, 1979).

A los datos biométricos se aplicaron los índices de Condición y Gonadal, propuestos por Giese y Pearse (1974) y usados por el SMW (Stephenson *et al.*, 1980), aunque sólo fue posible aplicarlos en los datos del muestreo de Baja California por la falta de los datos biométricos de EUA.

Un análisis estadístico de comparación entre zonas (California, EUA, vs. Baja California), se llevó a cabo entre los metales característicos de contaminación (Ag, Cu y Pb), surgencias (Cd y Zn) y de origen terrígeno (Al, Mn y Cr). Este se efectuó utilizando un análisis de varianza multivariado de una vía, en el cual se comparan las medias de los grupos de metales, entre las dos zonas.

Debido a la heterogeneidad de las matrices de dispersión, detectada a través de la Prueba de Box (Morrison, 1979), se aplicó una

to detect differences between the metals which are characteristic of contamination (Ag, Cu and Pb), upwellings (Cd and Zn) and of a terrigenous origin (Al, Mn and Cr).

MATERIALS AND METHODS

The samplings were carried out during September, 1981 along the coast of Baja California and during January, 1982 in California, USA. The distribution of the stations is shown in Table I, of which eight were autochthonous populations and seven were transplants. The latter consisted of mussels taken from Bodega Bay, California, USA, and placed in bays and harbours in which no natural populations exist. The California data were kindly provided by Stephenson (personal communication), but only the means and deviations were provided, not the biometric data. The transplants were placed in a system of buoys described by Stephenson *et al.* (1980). These were left in each place for approximately six months.

The samplings and analyses were carried out according to the methodology used by the SMW (Stephenson *et al.*, 1979).

The Condition and Gonad Indices proposed by Giese and Pearse (1974) and used by the SMW (Stephenson *et al.*, 1980) were applied to the biometric data, though it was only possible to apply them to data from the Baja California samples due to the lack of the biometric data from the USA.

A comparative statistical analysis between zones (California, USA, vs. Baja California) was carried out among the metals which are characteristic of contamination (Ag, Cu and Pb), upwellings (Cd and Zn) and of terrigenous origin (Al, Mn and Cr). This was done by using a one-way multivariate variance analysis, in which the means of the metal groups were compared between the two zones.

Due to the heterogeneity of the dispersion matrices detected through the Box Test (Morrison, 1979), a natural logarithmic transformation was applied and an acceptable dispersion homogeneity was obtained at the 1% confidence level.

Tabla I. Localización de las estaciones de California, EUA y Baja California, México.
Table I. Location of the stations in California, USA, and Baja California, Mexico.

	Número de Estación	Localidad	Latitud	Longitud
EUA	1	Hymboldt Bay*	40°45'40"	124°14'15"
	2	Bodega Head	38°31'30"	123°15'45"
	3	San Francisco*	37°41'45"	122°20'30"
	4	Pacific Grove	36°38'08"	121°55'29"
	5	Los Angeles	33°43'00"	118°19'00"
	6	Los Angeles*	33°43'00"	118°19'00"
	7	Newport	33°30'00"	118°00'00"
	8	Oceanside	33°11'10"	117°23'30"
	9	Point Loma	32°21'01"	117°10'22"
	10	San Diego*	32°20'00"	117°10'20"
México	11	Isla Todos Santos	31°45'47"	116°50'10"
	12	Eréndira	30°40'40"	116°03'00"
	13	San Quintín*	30°25'48"	116°00'00"
	14	Punta Baja	29°55'30"	115°49'00"
	15	Sta. Rosalíta	28°40'40"	114°14'08"
	16	Punta Abreojos	26°35'30"	113°32'20"

*Estación de trasplantes

transformación logarítmica natural, y al nivel de confianza del 1%, se pudo obtener una homogeneidad de dispersión aceptable.

A los datos de los trasplantes se les aplicó un factor de asimilación (Fa), el cual se llevó a cabo comparando los resultados de los trasplantes con los valores obtenidos en Bodega Bay, California, EUA, por ser este lugar donde fueron extraídos los organismos para ser trasplantados. Este factor se plantea como:

$$Fa = (\text{Conc. final}) / (\text{Conc. inicial})$$

donde valores inferiores a 1 indican que hubo una disminución de la concentración con respecto a las concentraciones del lugar de comparación.

Para obtener información de la similitud entre estaciones, se plantea en este estudio por primera vez un Índice de Similitud, que es una modificación del Índice de Similitud de

An assimilation factor (Fa) was applied to the data of the transplants, which was carried out by comparing the results of the transplants with the values obtained in Bodega Bay, California, USA, from where the organisms were extracted in order to be transplanted. This factor is given by:

$$Fa = (\text{Final conc.}) / (\text{Initial conc.})$$

where values lower than 1 indicate a decrease in the concentration with respect to the concentrations of the comparison site.

In order to obtain information on the similarity of the stations, a Similarity Index is proposed for the first time in this study, which is a modification of Sorensen's (1948) Similarity Index. This index is given by the following formula:

$$Is = 1 - (D) / (A + B)$$

Sorensen (1948). Dicho índice se expone en la siguiente fórmula:

$$I_s = 1 - (D)/(A+B)$$

Donde:

A = Valor de la localidad con más alta concentración (ppm)

B = Valor de la localidad con más baja concentración (ppm)

D = Valor absoluto de la diferencia entre A y B

Los valores del índice varían entre 0 (no similitud) y 1 (similitud total). La modificación consiste en representar con el término $D/A+B$ la disimilitud, a fin de tomar en cuenta las diferencias de las concentraciones entre las localidades comparadas. Este índice sólo se aplicó a los metales que se asocian a contaminación (Ag, Cr, Zn y Pb) y se compararon con las concentraciones obtenidas en Bodega Bay, California, debido a su naturaleza pristina (Stephenson *et al.*, 1979).

RESULTADOS Y DISCUSION

Con los datos biométricos (Tabla II) se calcularon los índices de Condición (Ic) y Gonadal (Ig) (Tabla III). Dichos resultados nos indican claramente la existencia de poblaciones diferentes dentro del área muestreada de Baja California. Esta observación se aprecia más claramente con el Índice Gonadal, así las poblaciones se pueden diferenciar dentro de dos zonas, norte y sur. La primera está integrada por los dos transplantes, Isla de Todos Santos y San Quintín, así como las estaciones de Eréndira y Punta Baja, la segunda por las estaciones de Santa Rosalita y Punta Abreojos. En dicha tabla se aprecian valores similares que marcan tal diferencia. La razón de esta diferenciación puede ser la temperatura a que están adaptados los organismos para desovar (Nelson, 1928). Por otro lado, las poblaciones de Santa Rosalita y Punta Abreojos están en los límites de su distribución debido a la temperatura, además de que el tamaño del adulto de estas localidades es sensiblemente menor que el de latitudes mayores (Coe y Fox, 1942 y Boetius, 1962). Esta conclusión es muy importante, ya

where:

A = value of the highest concentration site (ppm),

B = value of the lowest concentration site (ppm),

D = absolute value of the difference between A and B.

The values of the index vary between 0 (no similarity) and 1 (total similarity). The modification consists in representing the dissimilarity with the term $D/A+B$, in order to take into account the differences in the concentrations between the compared sites. This index was only applied to the metals associated with contamination (Ag, Cr, Zn and Pb) and they were compared to the concentrations obtained in Bodega Bay, California, due to their pristine nature (Stephenson *et al.*, 1979).

RESULTS AND DISCUSSION

The Condition (Ic) and Gonad (Ig) Indices were calculated (Table III) with the biometric data (Table II). These results clearly indicate the existence of different populations within the sampled area of Baja California. This observation is seen more clearly with the Gonad Index and the population can be differentiated into two zones, north and south. The first is composed of the two transplants, Todos Santos Island and San Quintín, as well as the stations of Eréndira and Punta Baja. The second by the stations of Santa Rosalita and Punta Abreojos. Similar values which indicate this difference can be seen in the table. The reason for this differentiation could be the temperature to which the organisms are adapted in order to spawn (Nelson, 1928). On the other hand, because of the temperature, the populations of Santa Rosalita and Punta Abreojos are at the limits of their distribution. Also, the size of the adult in these sites is appreciably smaller than at higher latitudes (Coe and Fox, 1942; Boetius, 1962). This conclusion is very important, since adults of a smaller size than the 7cm suggested by the SMW were sampled (Stephenson *et al.*, 1979), which means that the size used in this study as proposed by the SMW, was not the appropriate one for these

Tabla II. Características biométricas de las muestras de *Mytilus californianus*, obtenidas en los diferentes lugares de Baja California (X = media, S = desviación Standar).**Table II.** Biometric characteristics of the samples of *Mytilus californianus*, obtained in the different sites of Baja California (X = mean, S = standard deviation).

	Localidad	n	Peso X+S de los tejidos (en gr.)	C.V.	Peso de Gónadas (en gr. de 15 Organismos)	Long. X+S (en cm.)	C.V.
1	Transplante Isla Todos Santos 20-Dic-81	(15)	7.00+2.67	38	45.45	6.8+0.7	11
2	Eréndira 27-Dic-81	(15)	5.20+0.78	15	33.03	6.8+0.5	8
3	Transplante San Quintín 2-Mar-82	(7)	6.14+1.35	22	26.40	7.3+0.7	10
4	Punta Baja 21-Sep-81	(15)	6.26+1.81	29	42.9	6.9+0.7	10
5	Santa Rosalíta 27-Sep-81	(15)	6.23+1.74	28	17.68	6.9+0.8	12
6	Punta Abreojos 10-Sep-81	(15)	7.53+2.80	37	19.82	7.1+0.7	10

Tabla III. Índices de Condición (Ic) y Gonadal (Ig) de los mejillones autóctonos y transplantes que se muestrearon en Baja California.**Table III.** Condition (Ic) and Gonad (Ig) Indices of the autochthonous mussels and transplants which were sampled in Baja California.

Localidad	Ic	Ig
Transplante Isla Todos Santos	1.03	0.43
Eréndira	0.76	0.42
Transplante de San Quintín	0.84	0.61
Punta Baja	0.9	0.46
Santa Rosalíta	0.9	0.19
Punta Abreojos	1.06	0.18

que se muestrearon adultos con tallas menores de los 7cm sugeridos por el SMW (Stephenson *et al.*, 1979), lo que significa que la talla usada en este estudio propuesta por el SMW, no fue la adecuada a estas localidades. Estas adaptaciones fisiológicas, producto de las condiciones ambientales a que están expuestos los organismos, pueden muy bien afectar la tasa de

sites. These physiological adaptations which are a product of the environmental conditions to which the organisms are exposed, can very well affect the metal assimilation rate. For example, Lobel *et al.* (1982) mention that mussels from the same population have different mechanisms by which they regulate the assimilation of Zn. If this happens in organ-

asimilación de los metales. Por ejemplo, Lobel *et al.* (1982), mencionan que mejillones de una misma población poseen diferentes mecanismos para regular la asimilación del Zn. Si esto sucede en los organismos de una misma población, la probabilidad de que ocurra entre poblaciones de diferentes lugares es determinante y puede explicar las bajas concentraciones de este metal en Punta Abreojos en comparación al resto de las estaciones tanto de Baja California como de California, EUA (Tabla IV).

Tanto en poblaciones autóctonas como en trasplantes, los altos valores observados en los metales como Ag, Cu, Cr, Pb, Mn y Zn (Tablas IV y V), fueron sensiblemente mayores en la zona correspondiente a California, aunque no significativos al 95% del nivel de confianza (Tabla VI, VII y VIII). Asimismo, los lugares que registraron valores altos de estos metales en California, corresponden a localidades con características de contaminación de industrias electrónicas y de fábricas enlatadoras de pescado (Stephenson *et al.*, 1979 y 1980).

Las medias de los metales antes mencionados, en poblaciones autóctonas muestran un gradiente de disminución de las concentraciones, el cual es más evidente en las estaciones que están más al Sur, como es el caso de Santa Rosalita y Punta Abreojos.

Los valores de Ag, Cd, Cr, Cu, Zn, Pb y Mn, fueron marcadamente menores, entre los que resalta el Cd y Zn, ya que tales concentraciones no se han registrado en ningún otro estudio. Esto significa que las estaciones de Baja California no reciben la influencia de las descargas de California y de que la Corriente de California no acarrea tales contaminantes a las costas de la Península. Sin embargo, sigue en pie el cuestionamiento sobre el destino final de los metales descargados en EUA. Goldberg (1979) plantea que los procesos de reducción de la contaminación de metales pesados en el medio ambiente marino, tiene lugar en las mismas aguas costeras, cerca de donde son depositadas las descargas. Asimismo, Bruland *et al.* (1979) plantean que los sedimentos absorben gran parte de los metales descarga-

dos de la misma población, la probabilidad de que ocurra entre poblaciones de diferentes lugares es determinante y puede explicar las bajas concentraciones de este metal en Punta Abreojos en comparación al resto de las estaciones tanto de Baja California como de California, EUA (Tabla IV).

In both autochthonous populations and transplants, the high values observed of such metals as Ag, Cu, Cr, Pb, Mn and Zn (Tables IV and V), were noticeably higher in the zone corresponding to California, although not significant to the 95% confidence level (Tables VI, VII and VIII). Likewise, the places which registered high values of these metals in California, correspond to sites associated with pollution from electronic industries and fish canning factories (Stephenson *et al.*, 1979 and 1980).

The means of the aforementioned metals in autochthonous populations, show a decreasing gradient of the concentrations which is more evident in the stations further to the south, such as Santa Rosalita and Punta Abreojos.

The values of Ag, Cd, Cr, Cu, Zn, Pb and Mn were noticeably lower, especially those of Cd and Zn, since such concentrations have not been recorded in any other study. This means that the Baja California stations are not influenced by the discharges from California and that the California Current does not carry these pollutants to the coasts of the Peninsula. However, there still remains the question on the final destination of the metals discharged in the USA. Goldberg (1979) proposes that the reduction processes of the contamination of heavy metals in the marine environment, take place in the same coastal waters close to where the wastes are discharged. Also, Bruland *et al.* (1979) propose that the sediments absorb a large part of the discharged metals, which occurs in the area adjacent to the source. This process is carried out by the adhesion of the metals to the surface of particles. This is confirmed by the fact that well-defined gradients are found in the sediments adjacent to a discharge (Katz and Kaplan, 1981).

Tabla IV. Concentraciones de metales en los mejillones nativos de las costas de California, EUA y Baja California, México. Las concentraciones están expresadas en ppm de peso seco. Los números superiores son los valores promedio de tres muestras integradas de 15 organismos y los números entre paréntesis son sus desviaciones estandar.

Table IV. Metal concentrations in native mussels from the coasts of California, USA, and Baja California, Mexico. The concentrations are given in ppm of dry weight. The upper numbers are the average values of three samples composed of 15 organisms and the numbers in parentheses are their standard deviations.

Localidad	Ag	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	Al	Mn
California, EUA								
Bodega Bay	0.80 (0.02)	12.00 (0.67)	1.80 (0.00)	4.80 (0.47)	127.00 (4.9)	0.83 (0.31)	265.00 (93)	7.00 (1.00)
Pacific Grove	1.30 (0.32)	8.50 (0.70)	1.30 (0.20)	3.30 (1.00)	260.00 (16.00)	6.70 (0.99)	121.00 (33)	7.50 (1.50)
Los Angeles	4.60 (0.62)	2.30 (0.80)	3.40 (0.53)	6.8 (0.38)	170.00 (38.0)	6.80 (0.95)	154.00 (25)	9.90 (0.98)
Oceanside	0.20 (0.06)	0.82 (0.2)	1.40 (0.02)	6.20 (0.42)	112.00 (16.0)	1.40 (0.15)	625.00 (67)	0.19 (0.01)
Point Loma	25.00 (0.2)	0.85 (0.1)	1.10 (0.72)	10.00 (15.0)	116.00 (0.45)	1.80 (24)	179.00 (0.10)	7.60
Baja California, México								
Eréndira	0.11 (0.04)	6.70 (1.2)	1.15 (0.10)	6.72 (0.54)	113.00 (7.0)	0.60 (0.14)	101.00 (24)	6.43 (0.25)
Punta Baja	0.13 (0.01)	7.27 (0.65)	1.30 (0.1)	5.32 (0.17)	114.67 (22.0)	0.70 (0.00)	39.01 (12)	3.73 (0.97)
Sta. Rosalíta	0.51 (0.00)	6.64 (1.39)	0.90 (0.10)	5.28 (0.47)	97.33 (22.00)	1.03 (0.00)	25.4 (12)	3.27 (0.97)
Punta Abreojos	0.01 (0.00)	2.13 (0.71)	0.30 (0.08)	3.18 (1.00)	30.67 (13.0)	0.23 (0.12)	31.87 (5)	1.65 (0.56)

dos, lo cual ocurre en el área adjunta a una depositación. Este proceso se lleva a cabo por la adhesión de los metales a la superficie de partículas, lo cual se confirma por encontrarse gradientes bien marcados en los sedimentos adjuntos a una descarga (Katz y Kaplan, 1981).

Otra respuesta ante tan bajas concentraciones en las estaciones antes mencionadas puede deberse al hecho de que se muestreó en plena presencia de Agua Ecuatorial, cuyas condiciones oligotróficas son bien conocidas (Malone, 1971a). Dichas aguas ponen a disposición pobres cantidades de alimento (Malone, 1971a y 1971b), lo que dá por resultado

Another reason for such low concentrations in the aforementioned stations could be that the samplings were carried out in the presence of the Equatorial Water, whose oligotrophic conditions are well-known (Malone, 1971a). These waters provide little quantities of food (Malone, 1971 and 1971b), resulting in a low quantity of metals to be assimilated, at least this has been shown for Zn. Furthermore, at low concentrations of oxygen and high temperatures, the mussels tend to increase their rate of filtration (Bayne, 1976), which can represent a washing of the metals in the tissues when the oligotrophic conditions of the Equatorial Water are present.

Tabla V. Concentraciones en ppm de metales pesados en trasplantes hechos en California, EUA como en Baja California, México. Los números superiores representan la media de tres réplicas, los números entre paréntesis las desviaciones estándar.

Table V. Concentrations in ppm of heavy metals in transplants carried out in California, USA, and Baja California, Mexico. Upper numbers represent the mean of three replicas and the numbers in parentheses are the standard deviations.

Lugar	Ag	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	Al	Mn
California, EUA								
Humboldt Bay	0.27 (0.06)	9.7 (0.7)	3.4 (0.8)	7.8 (0.5)	145.0 (10.0)	1.7 (0.2)	587.0 (21.0)	13.0 (0.4)
San Francisco	23.00 (2.5)	11.0 (1.1)	2.4 (0.1)	15.0 (0.4)	317.0 (13.0)	8.7 (0.2)	282.0 (36.0)	31.0 (11.0)
Los Angeles	2.40 (0.1)	3.5 (0.5)	1.3 (0.1)	6.2 (0.3)	102.0 (3.5)	3.2 (0.1)	19.0 (3.5)	3.7 (0.6)
New Port	0.60 (0.0)	11.0 (0.5)	2.1 (0.9)	31.0 (0.2)	385.0 (91.0)	18.0 (3.4)	144.0 (20.0)	25.0 (0.8)
San Diego	0.21 (0.1)	5.7 (0.7)	2.5 (0.3)	14.0 (1.8)	259.0 (22.0)	0.9 (0.1)	452.0 (48.0)	23.0 (5.4)
Baja California								
I. Todos Santos	0.07 (0.0)	6.1 (0.2)	1.1 (0.4)	5.2 (0.6)	102.0 (33.0)	1.1 (0.0)	48.0 (12.8)	4.7 (0.7)
San Quintín	0.04 (0.0)	5.0 (0.6)	1.7 (0.3)	8.5 (0.4)	148.0 (7.9)	0.5 (0.1)	932.0 (99.1)	32.7 (3.2)

una baja cantidad de metales para ser asimilados; al menos esto ha sido evidenciado para el Zn (George y Brian, 1980). Además, los mejillones a bajas concentraciones de oxígeno y altas temperaturas, tienden a incrementar su tasa de filtración (Bayne, 1976), lo que puede representar un lavado de los metales en los tejidos cuando se presentan las condiciones oligotróficas del Agua Ecuatorial.

Por su parte en los trasplantes no se observó un patrón tan definido de reducción en las concentraciones conformese muestreó al Sur, como fue el caso de las poblaciones autóctonas, lo cual se debió a los pocos experimentos realizados en la zona de Baja California (Tabla V). Además, la información que los trasplantes dan se refieren a condiciones muy particulares de bahías, dársenas portuarias o esteros, donde las poblaciones naturales son

In the case of the transplants, such a well-defined pattern was not observed in the reduction of the concentrations according to what was sampled in the south, as was the case of the autochthonous populations, which is due to the few experiments carried out in the Baja California zone (Table V). Also, the information given by the transplants refers to very particular conditions in bays, harbours or estuaries, where there are poor natural populations (Stephenson *et al.*, 1979). The highest values of sedimentary origin, as are Al and Mn, were recorded in the San Quintín transplant (Ovellete, 1978; Stephenson *et al.*, 1979). This is due to the large removal of sediments caused by tidal currents and wind patterns which affect the low water column. On the other hand, the metals which are characteristic of contamination (such as Ag and Pb), were not assimilated in large quanti-

Tabla VI. Análisis de varianza multivariado de una vía para los metales característicos de contaminación (Ag, Cu y Pb). Comparación por zonas, California, EUA, vs Baja California (datos transformados a 1n).

Table VI. One-way multivariate variance analyses of metals which are characteristic of contamination (Ag, Cu and Pb). Comparison by zones, California, USA, vs. Baja California (data transformed to 1n).

Prueba de igualdad de dispersión H1

Media = 8.754, F = 0.7325

b.d.l. del numerador: 6, d.g.l. del denominador: 289

La probabilidad asociada al intervalo (0.0.7325) es: 0.3762

Al nivel de confianza de 95%, la hipótesis H1 no es rechazada

Relaciones F Univariadas

1 g.d.l. en el numerador y 7 en el denominador

Carac.	entre medias	en las medias	Relación 1
1	21.60	3.69	5.85
2	5.21	0.73	7.18
3	0.06	0.14	0.42

Valor de F para la prueba de H2: 2.058

d.g.l. del numerador: 3, del denominador: 5

La probabilidad al int. (0, 2.0586) es: 0.7755

Al nivel de confianza de 95% la hipótesis H2 no es rechazada.

pobres (Stephenson *et al.*, 1979). El trasplante de San Quintín se destaca por el hecho que registró los valores más altos de origen sedimentario como es el Al y Mn (Ovbellete, 1978 y Stephenson *et al.*, 1979). Esto se debe a la gran remoción de sedimentos, originada por las corrientes de marea y los patrones de vientos que afectan la escasa columna de agua. Por otro lado, los metales característicos de contaminación (como Ag y Pb) no fueron asimilados en gran cantidad en los trasplantes de Baja California, lo que indica que estos lugares están poco afectados por la contaminación industrial tanto local como proveniente de EUA. Esto es altamente beneficioso para los cultivos de ostión y mejillón que ya existen a nivel comercial en San Quintín y Bahía de Todos Santos (respectivamente).

El análisis del Índice de Similitud aplicado a este estudio (Tabla IX) hace que se aprecie una similitud muy grande entre las

ties in the Baja California transplants which indicates that these sites are only slightly affected by industrial pollution, both local and coming from the USA. This is highly beneficial for the commercial oyster and mussel cultures which already exist in San Quintín and the Bahía de Todos Santos (respectively).

From the analysis of the Similarity Index applied to this study (Table IX), it is possible to note a large similarity between the Baja California and Bodega Bay, California, USA, stations. Furthermore, the assimilation factor of the transplants (Fa: Table X) shows that values less than 1 were obtained for the metals Ag, Cd and Cr, indicating that the original concentrations which the mussels had, decreased on being deposited in Baja California. From this it is inferred that the coasts of Baja California are highly pristine, even more so than Bodega Bay, California, USA, considered a reference site by the SMW (Stephenson

Tabla VII. Análisis de varianza multivariado de una vía para los metales característicos de surgencias (Cd y Zn); comparación por zonas, California, EUA, vs. Baja California, México. (Datos previamente transformados a ln.)

Table VII. One-way multivariate variance analyses of metals which are characteristic of upwellings (Cd and Zn); comparison by zones, California, USA, vs. Baja California, Mexico. (Data previously transformed to ln.)

Determinante de la matriz de dispersión 0.16739

Prueba de igualdad de dispersiones H_1 :

Media = 16.086, $F = 3.653$, d.g.l. del numerador: 3, del denominador: 5353

Probabilidad asociada al intervalo (0, 3.6531) es: 0.9880

Al nivel de confianza del 99%, la hipótesis H_1 no es rechazada

Relaciones F Univariadas

d.g.l. en el numerador 1, d.g.l. en el denominador 7

Carac.	entre medias	dentro de medias	relación F
1	0.81	1.03	0.79**
2	0.99	0.23	4.21

Valor de F para la prueba H_2 : 4.3721

Grados de libertad del numerador: 2, del denominador: 6

La probabilidad asociada al int. (0, 4.3721) es: 0.9326

Al nivel de confianza de 95% la hipótesis H_2 no es rechazada

estaciones de Baja California con Bodega Bay, California, EUA. Asimismo, el factor de asimilación de los transplantes (Fa: Tabla X) nos indica que para los metales Ag, Cd, y Cr se obtuvieron valores menores de 1, indicándonos que las concentraciones originales que los moluscos traían al ser transplantados disminuyeron al ser depositados en Baja California. Con esto se entiende, finalmente, que las costas de Baja California son altamente prístinas, y aún más que las de Bodega Bay, California, EUA, lugar que es considerado como de referenciapor el SMW (Stephenson *et al.*, 1979). Por lo que podemos concluir que la distribución de los contaminantes de origen industrial provenientes de California, EUA, y de Baja California no son acarreados y depositados en las costas de la Península.

LITERATURA CITADA

Alvarez-Borrego y Chee-Barragán, A. (1976) Distribución superficial de fosfatos y silicatos

et al., 1979). We can therefore conclude that the distribution of the industrial pollutants coming from California, USA, and from Baja California, are not carried and deposited along the coasts of the Peninsula.

English translation by Christine Harris.

en Bahías San Quintín, BC. Ciencias Marinas 3(1):25-28.

Bakun, A. y Nelson, C.S. (1975) Climatology of Upwelling Related Processes Off Baja California. Simposio de Ciencias Pesqueras de la Escuela Superior de Ciencias Marinas (UABC); 16-22 de febrero.

Bayne ed. (1976) Marine Mussels. Their Ecology and Physiology. Cambridge, England Univ. Press. pp 506.

Boetius, I. (1962) Temperature and Growth of *Mytilus edulis* (L) from the Northern Harbour

Tabla VIII. Análisis de varianza multivariado de una vía para los metales característicos de un origen terrígeno (Al y Mn y Cr). Comparación por zonas, California, EUA, vs. Baja California, México. (Datos previamente transformados a Ln.)

Table VIII. One-way multivariate variance analyses of metals which are characteristic of a terrigenous origin (Al, Mn and Cr). Comparison by zones, California, USA, vs. Baja California, Mexico. (Data previously transformed to Ln.)

El determinante de la matriz de dispersión es 0.110830 00
 Prueba de igualdad de dispersiones H1
 Media = 17.390, F = 1,455
 d.g.l. del numerador: 6, del denominador: 289
 Probabilidad asociada al int. (0, 1.4552) es: 0.8065
 Al nivel de confianza de 95% la hipótesis H1 no es rechazada

Relaciones F univariadas

d.g.l. del numerador: 1 y del denominador: 7

Carac.	entre medias	en las medias	relación F
1	6.35	0.40	15.99**
2	0.03	1.74	0.02
3	1.14	0.31	3.72

Valor de F para la prueba H2: 5.5732
 d.g.l. del numerador: 3, del denominador: 5
 La probabilidad asociada al int. (0, 5.5732) es: 0.9527
 Al nivel de confianza de 95%, la hipótesis H2 es rechazada

of Copenhagen(The Sound). Meddeleser, Fra. Danmars Fiskeri-og Havunders Gelser, Kobenhaun, N.S., 3:339-346.

Brooks, R.R. y Rumsby, M.G. (1965) The Biogeochemistry of Trace Element Uptake by some New Zeland Bivalves. *Limnol. and Ocean.* 10:521-527.

Bruland, K.W., Knauer, G.A. y Martin, J.H. (1979) Cadmium in Northeast Pacific Waters. *Limnol. and Ocean.* 23:618-625.

Coe, W.R. y Fox, D.L. (1942) Biology of the California Sea Mussel *Mytilus californianus*. I. Influence of Temperature, Food Supply, Sex and Age on the Rate of Growth. *Jour. of Experimental Zool.* 60:1-30.

Chow, T.J., Snyder, H.G. y Snyder, C.B. (1976) Mussels (*Mytilus* sp.) as an Indicator of Lead Pollution. *Sci. Total Environ.* 6:55-63.

Fowler, S.W. y Oregioni, B. (1976) Trace Metals in Mussels from the NW Mediterranean. *Mar. Poll. Bull.* 7(2):26-29.

Giese, D.C. y Pearse, J.S. (1974) Reproduction of Marine Invertebrates. Giese A.C. y J.S. Pearse (Eds.). Academic Press.

Goldberg, E.D. (1975) The Mussel Watch, a First Stop in Global Marine Monitoring. *Mar. Poll. Bull.* 6:111.

Goldberg, E.D. (1979) La salud de los océanos. Publicado por la UNESCO. Madrid, España.

Hickey, B.M. (1979) The California Current System Hypothesis and Facts. *Progress in Oceanography*; 8: M.V. Angel y J. O'Brien Edits. Pergamon Press.

Tabla IX. Valores del índice de similitud (Is) para las diferentes localidades (aplicado en los metales relacionados a contaminación) en relación con Bodega Bay, California, EUA.

Table IX. Values of the Similarity Index (Is) for the different sites (applied to metals associated with contamination) in relation to Bodega Bay, California, USA.

Localidad Comparada	Zn	Cu	Cr	Pb	Ag
Pacific Grove	0.66	0.81	0.84	0.22	0.12
San Francisco*	0.57	0.48	0.86	0.17	0.01
Los Angeles*	0.86	0.83	0.69	0.22	0.03
New Port*	0.50	0.27	0.92	0.08	0.24
Oceanside	0.94	0.87	0.88	0.74	0.58
Point Loma	0.97	0.65	0.76	0.63	0.06
San Diego	0.89	0.51	0.84	0.98	0.55
Isla Todos Santos*	0.66	0.98	0.75	0.86	0.78
Eréndira	0.93	0.87	0.78	0.84	0.89
San Quintín*	0.93	0.96	0.96	0.78	0.70
Punta Baja	0.95	0.95	0.96	0.92	0.74
Sta. Rosalíta	0.87	0.95	0.67	0.89	0.78
Pta. Abreojos	0.39	0.80	0.21	0.44	0.28

* Indica trasplantes

Tabla X. Factores de asimilación en los diferentes trasplantes en relación a su lugar de origen, Bodega Bay, California, EUA.

Table X. Assimilation factors in the different transplants in relation to their place of origin, Bodega Bay, California, USA.

Localidad	Ag	Cd	Cu	Cr	Zn	Pb	Al	Mn
Humboldt Bay	3.38	0.81	1.63	1.89	1.14	2.05	2.20	1.86
San Francisco	2875.	0.92	0.31	1.33	2.50	10.48	1.20	4.43
Los Angeles	30.00	0.29	1.31	0.72	0.80	3.86	0.10	0.53
New Port	7.50	0.92	6.46	1.17	3.03	21.69	1.30	3.57
San Diego	2.63	0.48	2.92	1.39	2.04	1.05	1.71	3.29
B. de Todos Santos	0.91	0.51	1.20	0.61	0.80	1.33	0.18	0.67
San Quintín	0.5	0.42	1.77	0.94	1.16	0.64	3.52	4.67

- Katz, A. y Kaplan, I.R. (1981) Heavy Metals Behavior in Coastal Sediments of Southern California: A Critical Review and Synthesis. *Marine Chemistry* 10:261-269.
- Knaver, G.A. y Martin, J.H. (1981) Phosphorus-Cadmium Cycling in Northeast Pacific Waters. *Deep Sea Research*. Jour. of Marine 39(1):61-76.
- Lobel, P.B., Mogie, P., Wright, D.A. y Wu, L.B. (1982) Metal Accumulation in Four Molluscs. *Mar. Poll. Bull.* 13(5): 170-174.
- Malone, T.C. (1971a). The Importance of Nanoplankton and Netplankton as Primary Producers in the California Current System. *Fish. Bull.* 69:799-820.
- Malone, T.C. (1971b) The Importance of Netplankton and Nanoplankton as Primary Producer in Neritic and Oceanic Tropical Waters. *Limnol. and Ocean.* 16:633-639.
- Martin, J.H. y Broenkow, W.W. (1975) Cadmium in Plankton: Elevated Concentrations Off Baja California. *Science* 190:884-885.
- Martin, J.H., Bruland, K.W. y Broenkow, W.W. (1976) Cadmium Transport in the California Current. *Marine Pollutant Transfer*; edited by H.L. Widom y R.A. Duce.
- Morrison, F.O. (1979) *Multivariate Statistical Methods*. McGraw-Hill Book Co.
- Nelson, T.C., (1928) On the Distribution of Critical Temperatures for the Spawning for Ciliary Activity in Bivalve Molluscs. *Science*, Vol. 67: 220-221.
- Ovellete, T., (1978) Seasonal Variation of Trace Metals and the Major Inorganic Ions in the Mussel, *Mytilus californianus*. M.Sc. Thesis: California State Univ. Hayward.
- Phillips, D.J.H. (1976) the Common Mussel *Mytilus edulis* as an Indicator of Pollution by Zinc, Cadmium, Lead and Cooper. II Relationship of Metals in the Mussel to Those Discharged by Industry. *Marine Biol.* 38:71-80.
- Pringle, B.H. Hissong, D.E., Katz, E.L. y Mulawka, S.T. (1968) Trace Metals Accumulation by Estuarine Molluscs. *Jour. Sanit. Eng. Div.*; 94:455-475.
- Shafer, H.A. (1980) Characteristics of Municipal Waste Waters. Coastal Water Research Project. Biennial Report 1979-1980: 235-240.
- Sorensen, (1948) A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Society, Based on Similar Species Content. *K. Danske Vidensk. Selsk.* 5:1-34.
- Stephenson, M.D., Martin, M., Lange, S.E., Flegal, A.R. y Martin, J.H. (1979) California Mussel Watch 1977-78. Vol II. Trace Metals Concentration in the California Mussel *Mytilus californianus*. Water Quality Monitoring Rpt. No. 79-22; Nov. 1979.
- Stephenson, M.D., Coale, S.L., Martin, M. y Martin, J.H. (1980) California State Mussel Watch 1979-80. Trace Metals Concentrations in the California Mussel *Mytilus californianus* and the Bay Mussel *M. edulis*, Along the California Coast and Selected Harbors and Bays. Part I. Water Quality Monitoring Rept. 80-81. Dec. 1980.
- Vidal Suárez, C. y Acosta Rutz, J. (1976) Distribución de cobre y zinc en mejillón *Mytilus californianus*, en la parte noroccidental de la Baja California. *Ciencias Marinas*; 3(2):18-23.