

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE Hg, Co, Fe Y
Ni EN EL MEJILLÓN *Mytilus californianus*
DE LA COSTA DE BAJA CALIFORNIA”**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA:
DIEGO ARMANDO CASAS BELTRAN**

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA , ABRIL DEL 2002

RESUMEN

Este estudio determina la distribución espacial de contaminación por Hg, Fe, Co y Ni en la costa noroccidental de Baja California mediante el uso del mejillón *Mytilus californianus* como bioindicador. Para este propósito, durante febrero y julio de 1994, se realizaron muestreos de mejillones en ocho localidades situadas a lo largo de 300 km de costa, desde Punta Bandera (10 km al sur de la frontera México-EUA) hasta San Quintín (300 km al sur de la frontera). La distribución espacial de Hg presentó un gradiente norte a sur definido de Punta Bandera ($0.331 \mu\text{g g}^{-1}$) a San Quintín ($0.094 \mu\text{g g}^{-1}$). Este gradiente sugiere que la distribución de Hg es afectada por las actividades antropogénicas cercanas a la frontera México-EUA. El Co presentó una distribución espacial con concentraciones significativamente ($p < 0.01$) mayores en Piedra Blanca ($2.98 \mu\text{g g}^{-1}$) y San Quintín ($2.26 \mu\text{g g}^{-1}$). El Ni indicó una distribución espacial no definida, con concentraciones mayores en Punta Bandera ($2.07 \mu\text{g g}^{-1}$) y San Quintín ($1.83 \mu\text{g g}^{-1}$). El Fe mostró, en general, concentraciones mayores de Punta Bandera a Bajamar en febrero ($515\text{-}504 \mu\text{g g}^{-1}$), a excepción de Punta China ($1142 \mu\text{g g}^{-1}$), localidad caracteriza por la extracción de material pétreo para uso de la industria cementera. El patrón de las concentraciones promedio de los metales en el mejillón en el área de estudio fue $\text{Fe} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Hg}$. Los resultados indican una correlación significativa ($p < 0.05$) entre Fe-Co ($r = 0.84$). No se observan, en general, correlaciones significativas entre los metales y las variables biológicas de los mejillones analizados. El análisis de agrupamiento entre metales identificó tres grupos definidos. La similitud entre las distribuciones de estos metales puede deberse a que los aportes de estos elementos están asociados a una fuente común en zonas más urbanizadas. El análisis de agrupamiento entre localidades señala tres grupos definidos los cuales integran tres zonas geográficas, esto se debe a que los metales mostraron gradientes espaciales de concentración en *M. californianus* o a características consistentes en su distribución.

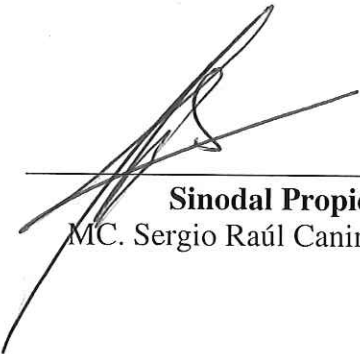
**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE Hg, Co, Fe Y Ni
EN EL MEJILLÓN Mytilus californianus DE LA
COSTA DE BAJA CALIFORNIA.”**

**T E S I S
QUE PRESENTA:
DIEGO ARMANDO CASAS BELTRAN**

Aprobada por:


Presidente del Jurado
Dr. Efraín Abraham Gutiérrez Galindo


Sinodal Propietario
MC. Albino Muñoz Barbosa


Sinodal Propietario
MC. Sergio Raúl Canino Herrera

DEDICATORIA

A mis padres,
FRESSIA Y ARMANDO
con todo mi amor
por ayudarme a lograr este sueño.

A la memoria de mi querida Abuela
CHAYO
Gracias por tu ejemplo!

A mis Hermanos
DULCE y DANIEL
gracias por creer en mi.

A ti **MARIAN**,
por acompañarme a lo largo de toda esta aventura.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California por todas las facilidades prestadas.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas por todas las atenciones y facilidades prestadas.

Al Dr. Efrain Gutiérrez Galindo , por tenderme la mano para este proyecto.

A mi sinodal MC Albino Muñoz Barbosa por las asesorías y consejos prestados.

Al MC Raúl Canino, gracias por tenerme paciencia y hacerme siempre un espacio para escucharme.

A mis “profes” del Instituto por brindarme su amistad: Martín Hernández, Vinicio Macías, Lorena Ríos, Roxana Rico, “Chava” Galindo y en especial a “Primi” (gracias por ayudarme cuando más necesitaba).

A mis “profes” de Ciencias Luis Alberto Morales Zamorano y Gorgonio Ruiz gracias me ha servido lo que aprendí.

Un agradecimiento en especial a Manuel Moreno y Fco. Ley Lou, por echarme la mano dentro y fuera de clases, gracias.

A la señora Anita y su familia por dejarme ser su amigo en todos estos años.

A mis cuates de la carrera gracias por todo: Steephen, Goya, Leonel, Alex, Geovanny, Gabo, Chokiy's.

A mis gurus espirituales Silvia Name y Alonzo, gracias Silvita., gracias Pollo.

A ti Marian por apoyarme todos estos años, la mitad de este esfuerzo es tuyo, te amo mi niña hermosa.

TABLA DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación del estudio.....	5
1.4 Hipótesis de Trabajo.....	7
1.5 <i>Objetivos</i>	7
2 MATERIALES Y METODOS.....	8
2.1 Descripción del área de estudio.....	8
2.2 Muestreo de organismos.....	11
2.3 Análisis químico y cuantificación de metales en organismos.....	14
2.4 Análisis estadístico.....	17
3 RESULTADOS.....	19
3.1 Características biológicas de los organismos.....	19
3.2 Metales pesados.....	24
3.2.1 Distribución espacial.....	24
3.2.2 Matriz de correlación entre metales y características biológicas.....	31
3.2.3 Análisis de correlación de Pearson entre metales y de agrupamiento entre metales y entre localidades de muestreo utilizando los elementos analizados en este estudio y los descritos en otro trabajo para la misma zona.....	33
4 DISCUSION.....	37
5 CONCLUSIONES.....	46
6 LITERATURA CITADA.....	49

LISTA DE TABLAS

	Pagina
Tabla I Comparación de concentraciones promedio de metales traza ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) entre muestras de control certificadas por el National Institute of Standards and Technology (NIST) y lo obtenido en este trabajo.	16
Tabla II Matriz de correlación producto momento de Pearson entre la concentración de metales en tejido blando de <i>M. californianus</i> , características biológicas y distancia a una zona de influencia antropogénica considerable (Punta Bandera) para febrero (n=7) y julio (n=8) de 1994.	32
Tabla III Matriz de correlación producto momento de Pearson entre la concentración de metales en tejido blando de <i>M. californianus</i> para febrero (n=7) y julio (n=8) de 1994.	34

LISTA DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1 Area de estudio y localidades de muestreo de <i>Mytilus californianus</i> .	10
Figura 2 Variación espacial de la talla de <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	21
Figura 3 Variación espacial del peso húmedo de <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	22
Figura 4 Variación espacial del índice de condición de <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	23
Figura 5 Variación espacial de mercurio en <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	26
Figura 6 Variación espacial de cobalto en <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	27
Figura 7 Variación espacial de níquel en <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	29
Figura 8 Variación espacial de fierro en <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	30
Figura 9 Dendograma de análisis de agrupamiento entre metales de febrero (a) y julio (b) de 1994.	35
Figura 10 Dendograma de análisis de agrupamiento entre localidades de muestreo de febrero (a) y julio (b) de 1994.	36

TABLA DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación del estudio.....	5
1.4 Hipótesis de Trabajo.....	7
1.5 Objetivos.....	7
2 MATERIALES Y METODOS.....	8
2.1 Descripción del área de estudio.....	8
2.2 Muestreo de organismos.....	11
2.3 Análisis químico y cuantificación de metales en organismos.....	14
2.4 Análisis estadístico.....	17
3 RESULTADOS.....	19
3.1 Características biológicas de los organismos.....	19
3.2 Metales pesados.....	24
3.2.1 Distribución espacial.....	24
3.2.2 Matriz de correlación entre metales y características biológicas.....	31
3.2.3 Análisis de correlación de Pearson entre metales y de agrupamiento entre metales y entre localidades de muestreo utilizando los elementos analizados en este estudio y los descritos en otro trabajo para la misma zona.....	33
4 DISCUSION.....	37
5 CONCLUSIONES.....	46
6 LITERATURA CITADA.....	49

LISTA DE TABLAS

	Pagina
Tabla I Comparación de concentraciones promedio de metales traza ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) entre muestras de control certificadas por el National Institute of Standards and Technology (NIST) y lo obtenido en este trabajo.	16
Tabla II Matriz de correlación producto momento de Pearson entre la concentración de metales en tejido blando de <i>M. californianus</i> , características biológicas y distancia a una zona de influencia antropogénica considerable (Punta Bandera) para febrero (n=7) y julio (n=8) de 1994.	32
Tabla III Matriz de correlación producto momento de Pearson entre la concentración de metales en tejido blando de <i>M. californianus</i> para febrero (n=7) y julio (n=8) de 1994.	34

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Area de estudio y localidades de muestreo de <i>Mytilus californianus</i> .	10
Figura 2 Variación espacial de la talla de <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	21
Figura 3 Variación espacial del peso húmedo de <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	22
Figura 4 Variación espacial del índice de condición de <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	23
Figura 5 Variación espacial de mercurio en <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	26
Figura 6 Variación espacial de cobalto en <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	27
Figura 7 Variación espacial de níquel en <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	29
Figura 8 Variación espacial de fierro en <i>M. californianus</i> durante febrero y julio de 1994.	30
Figura 9 Dendograma de análisis de agrupamiento entre metales de febrero (a) y julio (b) de 1994.	35
Figura 10 Dendograma de análisis de agrupamiento entre localidades de muestreo de febrero (a) y julio (b) de 1994.	36

Distribución espacial de Hg, Co, Fe y Ni en el mejillón *Mytilus californianus* de la costa de Baja California.

INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Los metales pesados son constituyentes naturales del agua de mar y son derivados de la erosión de las rocas, vulcanismo e hidrotermalismo. Estos elementos se interrelacionan con el medio ambiente mediante un balance conocido como ciclos biogeoquímicos naturales (Garrels *et al.*, 1975; Lantzy y Mackenzie, 1979). El aumento en la actividad industrial ha generado como subproducto una gran cantidad de metales que han sido descargados al medio ambiente a niveles tan importantes que afectan los ciclos naturales de los elementos (Garrels *et al.*, 1975). Se ha considerado que en algunos casos la movilización antropogénica de metales puede ser tan importante y aun exceder la movilización natural.

Los estudios de la contaminación por metales pesados en el medio ambiente marino tienen el propósito de proteger los ecosistemas marinos costeros, en general, y la salud humana, en particular. Con este fin, se ha propuesto el empleo de organismos centinelas como indicadores biológicos cuantitativos de la contaminación por metales

pesados en el medio marino (Goldberg, 1975; Cantillo, 1998; Rainbow y Blackmore, 2001).

Los organismos marinos pueden tener la capacidad de regular en sus tejidos las concentraciones de metales esenciales hasta un cierto nivel de concentración, arriba de este nivel se inicia la acumulación y entonces se presentan efectos tóxicos en el organismo. Sin embargo, los metales no esenciales como el mercurio y el cadmio no juegan un papel biológico en el organismo y por lo tanto son potencialmente tóxicos aun en bajas concentraciones (Amiard *et al.*, 1987).

Desde hace dos décadas y hasta la actualidad se ha propuesto el uso de mejillones del género *Mytilus* para evaluar las tendencias espaciales y temporales de algunos contaminantes en los ambientes costeros (Boalch *et al.*, 1981; Gault *et al.*, 1983; Goldberg *et al.*, 1983; Borchardt *et al.*, 1988; Lauenstein *et al.*, 1990; Stephenson y Leonard, 1994; Beliaeff *et al.*, 1997; Haynes y Toohey, 1998; Moukrim *et al.*, 2000). En general, se argumenta que estos organismos pueden acumular los metales a partir de su alimento y del agua de mar en concentraciones que exceden considerablemente a aquellas encontradas en el ambiente; además lo hacen proporcionalmente a las concentraciones encontradas en su alrededor (Phillips, 1976 a,b).

A partir de que los mejillones se comenzaron a utilizar como bioindicadores también se han realizado investigaciones para conocer los factores o procesos que afectan la variabilidad en la concentración de metales en estos organismos. La talla (Latouche y Mix, 1982), la razón de filtración (Boyden, 1977), el sexo (Latouche y Mix, 1982; Orren *et al.*, 1980) la época del año (Orren *et al.*, 1980; Boalch *et al.*, 1981; Ouellette, 1981), pueden ser importantes fuentes de variación en este tipo de estudios y aparte de todas ellas, también existe la variabilidad no identificada con ningún proceso, también conocida como residual (Lobel *et al.*, 1989). Esta información ha mostrado su utilidad en la planeación de estudios de contaminación costera a gran escala en espacio y tiempo, pues permite minimizar los efectos de los procesos que se sabe tienen influencia (a pequeña escala en espacio y tiempo) en la variabilidad de la concentración de metales en mejillones (Gault *et al.*, 1983; Goldberg *et al.*, 1983; O'Conner, 1996; Beliaeff *et al.*, 1997).

1.2. Planteamiento del problema

La costa noroccidental de Baja California se encuentra localizada al sur de una de las zonas más industrializadas del mundo (el sur de California, EUA). De manera particular, las descargas de aguas residuales de Point Loma en San Diego y la de Punta

Bandera en Tijuana impactan de manera determinante el medio ambiente costero de la zona fronteriza. La de Point Loma es una planta de tratamiento avanzado que libera sus aguas de desecho a través de un emisor submarino que descarga a 7.2 km de la costa y a una profundidad de 93 m. Desde 1992 libera 715×10^6 litros.día⁻¹ y un promedio de sólidos totales de 17,870 toneladas. De 1978 a 1992 esta planta descargó un promedio anual de 1.6, 0.7, 1.1, 4.3, 15.8, 0.09, 10.4, 0.39 y 30.4 toneladas de Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Se y Zn, respectivamente (Schafer, 1980, 1982, 1984; SCCWRP, 1986, 1987, 1989a, 1992, 1994). La planta de tratamiento de Punta Bandera cuenta con sistema de tratamiento secundario. Libera, a cielo abierto y sobre la línea de costa, un flujo promedio de 130×10^6 litros día⁻¹ y una cantidad aproximada de 6,000 toneladas de sólidos suspendidos anualmente (SCCWRP, 1989b). La información existente señala que por la planta de Punta Bandera se vierten aproximadamente 8.4, 13.6, 7.0, 6.6, 0.07 y 0.75 t año⁻¹ de Cu, Zn, Cr, Pb, Cd, y Ag, respectivamente (comunicación personal, José de J. Melendez M.*).

Para evaluar el impacto ambiental que las descargas antropogenicas tienen en la distribución espacial de metales pesados e identificar otros procesos que determinen su variabilidad en el ambiente costero de Baja California, se realizaron estudios de metales pesados en agua (Sañudo-Wilhelmy Flegal, 1991, 1992, 1994, 1996; Segovia-Zavala, *et al.*, 1998; Delgadillo *et al.*, 2001), en sedimentos (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1994a;

* Jefe de la planta de tratamiento de Punta Bandera, de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana.

Villaescusa-Celaya *et al.*, 1997; 2000) y en organismos (Chow *et al.*, 1976; Gutiérrez-Galindo y Flores-Muñoz, 1986; Martín *et al.*, 1988; Reynoso-Nuño y Jorajuria, 1988; Lares-Reyes, 1988; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1991; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1994b; Revuelta-Cortés, 1995; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999; Muñoz-Barbosa *et al.*, 2000; Gutiérrez-Galindo y Muñoz-Barbosa, 2001). Sin embargo, con respecto a los trabajos en organismos, no ha existido consistencia en cuanto al tipo de trabajo, los metales que se estudian y la continuidad con que se realizan. Lo mismo se han estudiado variaciones espaciales de Pb (Chow *et al.*, 1976), Ag (Martín *et al.*, 1988), Hg (Gutiérrez-Galindo y Flores-Muñoz, 1986) y metales varios (Reynoso-Nuño y Jorajuria, 1988) que variaciones temporales de corto periodo de Ag, Cu, Cd y Hg (Lares-Reyes, 1988; Gutiérrez-Galindo y Muñoz-Barbosa, 2001) y experimentos de trasplante (Revuelta-Cortés, 1995). En general, se ha encontrado que las distribuciones espaciales de Ag y Pb se encuentran estrechamente ligadas a las actividades del hombre y presentan concentraciones altas (en agua, sedimentos y organismos) en la frontera México- E.U.A. (Tijuana-San Diego).

1.3 Justificación del estudio

Para evaluar temporal y espacialmente la contaminación por metales pesados en los ambientes costeros se realizan análisis de agua, sedimentos o de la biota. El análisis de agua es costoso, laborioso y proporciona sólo estimaciones instantáneas de la

concentración de los metales en el medio (Phillips, 1977). El uso de sedimentos está también sujeto a ciertos errores de acuerdo a la razón de sedimentación de material particulado y la cantidad de materia orgánica presente; además, proporciona poca información acerca de la cantidad de metal biodisponible (Phillips, 1977). La utilización de indicadores biológicos para definir áreas contaminadas por metales pesados parece ser más atractiva. Los organismos no sólo concentran los metales del agua, sino que representan un valor promedio, con respecto al tiempo de la disponibilidad biológica de los metales en cada lugar estudiado.

Algunos de los trabajos previamente mencionados, pertenecen a investigaciones que fueron diseñadas para determinar la distribución espacial de los contaminantes. Desafortunadamente, la mayoría han sido efímeros y no han proporcionado mucha información acerca de las tendencias de largo periodo de los mismos contaminantes (Stephenson y Leonard, 1994). México se ha integrado a programas de bioindicadores de la contaminación (Martin *et al.*, 1988). Sin embargo, los trabajos al sur de la frontera y particularmente en Baja California han sido escasos; por lo que es necesario realizar estudios para investigar los procesos que determinan la distribución espacial de la concentración de metales en mejillones, en particular de mercurio, hierro, cobalto y níquel. Lo anterior, genera información que permite identificar tendencias espaciales de largo periodo, las cuales son muy importantes para implementar y apoyar políticas en relación a la protección del ambiente costero. Así como también, estos trabajos permiten

aportar información de referencia, en condiciones locales, para conocer la evolución de la contaminación por metales pesados en el área examinada.

1.4 Hipótesis de trabajo

De acuerdo a las distribuciones geográficas de la densidad poblacional y la producción de desechos, los metales pesados influenciados antropogénicamente presentarán concentraciones mayores en las estaciones cercanas a la frontera México-Estados Unidos (Tijuana-San Diego) y menores en la parte sur de la zona de estudio. Como consecuencia de esto se definirán al menos dos áreas geográficas: una influenciada antropogénicamente y otra no influenciada. En el mejor de los casos se subdividirá a la zona de estudio en tres áreas geográficas.

1.5 Objetivos

General

Describir la distribución espacial de la contaminación por Hg, Fe, Co y Ni en la costa noroccidental de Baja California mediante el uso del mejillón *Mytilus californianus* como bioindicador.

Particulares

- a) Determinar la distribución espacial de las concentraciones de los metales pesados en la zona de estudio.
- b) Determinar las asociaciones entre las concentraciones de los metales pesados y las características biológicas de los organismos.
- c) Determinar las asociaciones entre metales y entre localidades de muestreo utilizando los elementos analizados en este estudio y metales descritos en otro trabajo para la misma zona

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio es la zona costera desde la frontera México-Estados Unidos (Tijuana-San Diego) hasta la Bahía San Quintín (300 km al sur de la frontera) (Fig. 1). Esta zona se encuentra dentro de la parte sur del área conocida como la Cuenca del Sur de California, misma que se extiende, de este a oeste, desde la línea de costa hasta el

sistema de la Corriente de California y de norte a sur desde Punta Concepción, California hasta Cabo Colonet, Baja California (Mearns, 1973).

En esta área las surgencias se presentan durante todo el año y las más intensas ocurren de abril a julio. Las aguas provienen de profundidades inferiores a los 100 metros y la extensión hacia el mar de la estructura horizontal superficial típica de surgencias, se observa hasta 50 km mar adentro, aproximadamente (Gómez-Valdez, 1983). Los vientos, que son los principales responsables de que se desarrollen los eventos de surgencia, tienen en una fuerte componente hacia el ecuador la mayor parte del año, con los valores promedio máximos durante mayo y junio (Bakun, 1975; Pavía y Reyes, 1983), esto genera un surgimiento de aguas durante todo el año el cual se intensifica en primavera y verano (González-Morales y Gaxiola-Castro, 1991).

La hidrodinámica de la zona de estudio es compleja, el patrón de corrientes se encuentra constituido por un sistema en el cual la Corriente de California predomina transportando agua hacia el sur (Lynn *et al.*, 1982). Dorman y Palmer (1981), afirman que frente a las costas de Baja California se presenta un giro que divide al Sistema de la Corriente de California en dos partes, una que fluye hacia el norte o contracorriente y otra que fluye hacia el sur a lo largo de la costa. En general, las corrientes son variables, con inversiones

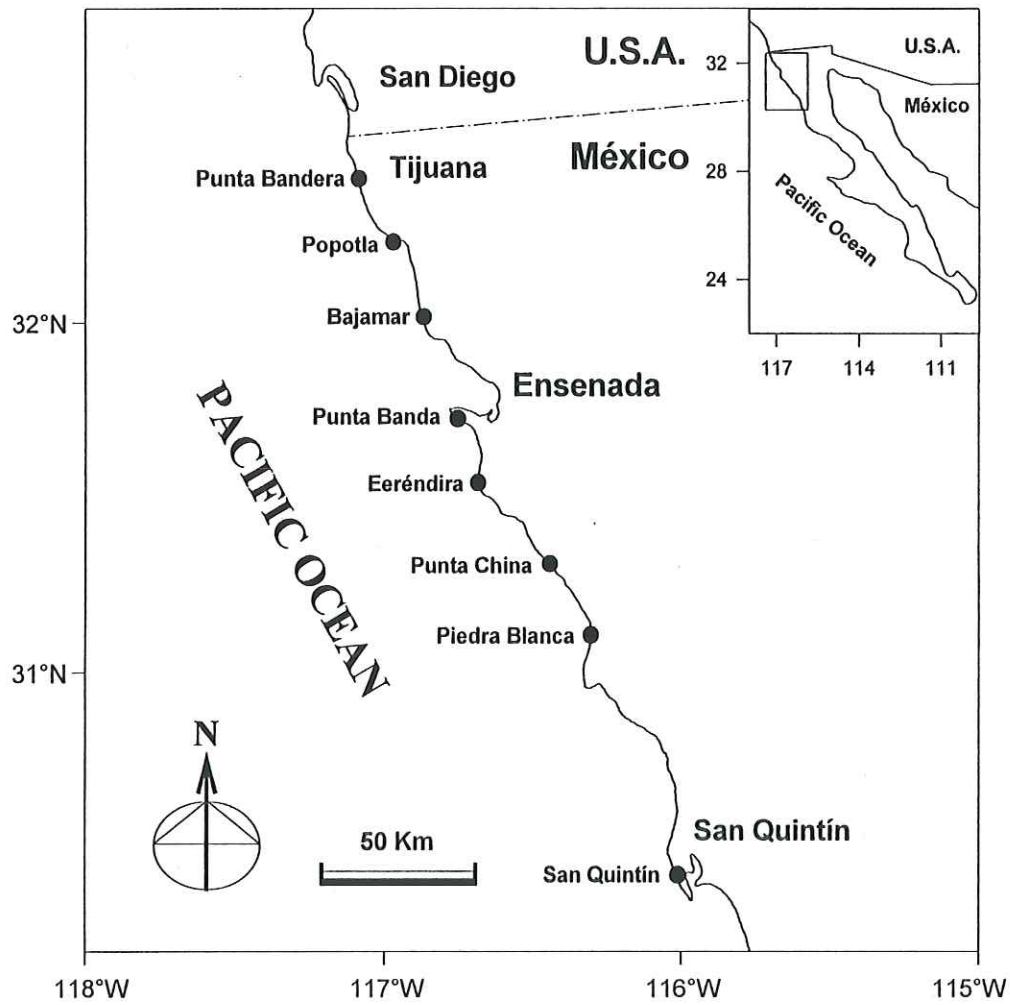


Fig. 1. Area de estudio y localidades de muestreo de *Mytilus californianus*.

estacionales en la dirección del flujo, pero orientadas principalmente a lo largo de la costa y con una velocidad promedio anual de 19 cm s^{-1} (Alvarez *et al.*, 1990). La región costera presenta un clima mediterráneo con veranos secos y cálidos e inviernos fríos y húmedos. Los mayores aportes de agua dulce a la zona costera son las descargas de aguas residuales de las metrópolis de San Diego y Tijuana (Segovia-Zavala *et al.*, 1998).

2.2 Muestreo de organismos

Durante febrero y julio de 1994 se efectuaron muestreos de *M. californianus* en ocho localidades distribuidas a lo largo de 300 km de costa, desde Punta Bandera (10 km al sur de la frontera México-EUA) hasta San Quintín (300 km al sur de la frontera México-EUA) (Fig. 1). En cada una de las estaciones se colectaron 50 organismos para los muestreos respectivos. Los muestreos se efectuaron de un mismo manto y se trató de muestrear organismos de tamaño similar (40-60 mm) para minimizar la variación en la concentración de metales debida a la talla (Boyden, 1977; Latouche y Mix, 1982) y a un mismo nivel de marea para evitar las diferencias debidas al tiempo de exposición (Coleman, 1980).

Los muestreos se realizaron con guantes de plástico (sin talco) y un cuchillo de buzo de acero inoxidable, material que ha mostrado no contaminar significativamente

(Groves, 1977). Inmediatamente después del muestreo los organismos fueron transferidos a bolsas de polietileno de cierre hermético previamente lavadas con agua deionizada. Enseguida se colocaron en hieleras y se transportaron al laboratorio donde fueron congeladas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis posterior.

Limpieza de material

Todo el material de plástico que se utilizó en los análisis se sometió al siguiente proceso de limpieza. Se mantuvo por una semana en una solución al 2% de jabón Micro®. Posteriormente, se enjuagó 5 veces con agua deionizada (DI) (18.1 megohm-cm) e inmediatamente después se transfirió a una solución al 50% (v/v) de HCl donde permaneció por espacio de una semana. Al término de lo anterior, el material se enjuagó 5 veces con agua (DI), se secó y se guardó en bolsas de plástico de cierre hermético, previamente enjuagadas con agua (DI), hasta su uso.

Todo el material de vidrio utilizado en los análisis se sometió al mismo proceso de limpieza que el material de plástico con la única diferencia de que en lugar de HCL al 50% (v/v) se usó HNO_3 al 50% (v/v).

Disección, medición y pesado de organismos

Para su disección, los mejillones se descongelaron y se lavaron con agua (DI) para remover la arena y epibiota presente. Se separaron en 3 submuestras de 15 organismos cada una. El uso de submuestras de varios organismos esta de acuerdo con Gordon *et al.* (1980), quien señala que el uso de muestras que contengan varios organismos producirán una excelente estimación de la media de la población, además de que la varianza de la población estimada de esta forma es menor que la varianza de la población estimada a partir de muestras individuales.

Ya separados en submuestras, los organismos se midieron (longitud) y utilizando una navaja de acero inoxidable se abrieron y se disectaron separando la gónada y el músculo. Las gónadas se separaron con el objeto de minimizar la variaciones estacionales de peso del tejido blando debido al estado reproductivo del organismo (Phillips, 1976a; Ouellette, 1981). Durante la disección, el músculo de cada uno de los organismos se transfirió a frascos de plástico de boca ancha de 250 mL donde se registró su peso individualmente.

Las submuestras, con el tejido de los 15 organismos, contenida en los frascos se homogenizó a 45 r.p.m. utilizando un homogenizador Vitris 45 equipado con aspas de

titanio. Las muestras homogenizadas se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la siguiente etapa del análisis.

2.3 Análisis químico y cuantificación de metales en organismos.

En el caso del mercurio se tomaron 5 g de tejido blando húmedo y se transfirieron a vasos de precipitado de vidrio de 25 mL, se les adicionaron 10 mL de HNO_3 concentrado (grado metal traza), se taparon con vidrios de reloj y se dejaron a temperatura ambiente toda la noche. A la mañana siguiente se subió la temperatura a 50°C y se mantuvo así por aproximadamente 2 horas. Enseguida se pusieron a reflujo a $100\text{-}200^{\circ}\text{C}$ durante 4 horas. Posteriormente se enfriaron, se les adicionó 15 ml de H_2O deionizada y 5 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ al 5%. Finalmente, el digerido se diluyó a 50 ml con H_2O deionizada, se agitó y se dejó estabilizar por lo menos durante 20 minutos.

La determinación de Fe, Co y Ni se realizó de acuerdo al método modificado de Stephenson et al (1979). De las submuestras homogenizadas se tomaron 5 g de tejido blando húmedo y se transfirieron a vasos de precipitado de vidrio de 25 mL, se les adicionaron 5 mL de HNO_3 concentrado (grado metal traza), se taparon con vidrios de reloj y se dejaron a temperatura ambiente toda la noche. A la mañana siguiente se subió la temperatura a 50°C y se mantuvo así por aproximadamente 2 horas. Enseguida se pusieron a reflujo a 100°C durante 4 horas. Posteriormente se les retiró el vidrio de reloj

y se llevaron a sequedad, se les adicionó 1 mL de agua (DI) y se evaporaron. Finalmente, se les adicionaron 20 mL de HNO_3 al 1% (v/v) y se transfirieron cuantitativamente a frascos de polipropileno de 30 mL.

Para evaluar la calidad de los procedimientos analíticos empleados, por cada 15 muestras se analizaron dos estándares de referencia de tejido el NIST Oyster tissue 1566a y el CRM-2976 de la NOAA y un blanco de procedimiento (Tabla I).

La concentración de mercurio se determinó mediante la técnica de vapor frío usando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian modelo SpectrAA 220 equipado con un generador de vapor VGA-77.

Tabla I. Comparación de concentraciones promedio de metales traza ($\mu\text{g g}^{-1}$ pesos seco) entre muestras de control certificadas por el National Institute of Standards and Technology (NIST) y lo obtenido en este trabajo.

Metal	Este estudio Media \pm D.S.	NIST Mussel Tissue CRM 2976 Media \pm I.E.
Co	0.56 \pm 0.01	0.61 \pm 0.02
Hg	0.062 \pm 0.011	0.061 \pm 0.036
Ni	0.86 \pm 0.08	0.93 \pm 0.12

NIST Oyster tissue 1566a		
Fe	416 \pm 18	539 \pm 15

D.S. Desviación estándar

I.E. Incertidumbre expandida (Taylor y Kuyatt, 1994)

De la misma manera, para la determinación de Fe, Co y Ni se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Varian modelo SpectrAA 880. En el caso del Fe se utilizó llama de aire-acetileno y para Co y Ni horno de grafito con corrector de fondo Zeeman.

Para determinar el porcentaje de humedad de las muestras se tomó 1 g de cada una de ellas y se puso a secar a 70°C durante 72 horas.

2.4 Análisis estadístico

Para detectar diferencias estadísticamente significativas entre localidades de muestreo en las distribuciones espaciales, se usó la prueba paramétrica de análisis de varianza (ANOVA), seguida de la prueba a posteriori Student-Newman-Keuls para detectar donde se encontraban las diferencias.

Previamente, para cubrir los requisitos necesarios del análisis de varianza paramétrico se aplicaron pruebas de homogeneidad de varianzas (Prueba de Bartlett) y de normalidad (Kolmogorov-Smirnov).

Para detectar las posibles asociaciones entre las diferentes variables (concentración de metales, talla, peso húmedo) se realizaron análisis de correlación Producto-Momento de Pearson para cada uno de los muestreos.

Para identificar grados de similitud entre estaciones de muestreo y entre distribuciones espaciales de metales se realizaron análisis de agrupamiento jerárquico (Hierarchical Clustering). El análisis de agrupamiento jerárquico divide al universo de variables en grupos con características similares. De esta forma se pueden identificar estaciones de muestreo, semejantes en cuanto concentración de metales en *M. californianus* se refiere, o metales que tienen un patrón de distribución parecido. El análisis de agrupamiento entre estaciones se utilizó para clasificar el área de estudio en zonas geográficas.

RESULTADOS

3.1 Características biológicas de los organismos.

Talla

En relación a la talla de los mejillones *M. californianus*, los resultados para febrero y julio no muestran una tendencia definida en cuanto a su distribución espacial (Fig. 2). Los valores mayores de talla se registraron en Popotla durante febrero (55.6 mm) y en Punta China en julio (54.7 mm) y los menores en Punta Banda en febrero (45.9 mm) y julio (49.7 mm). El análisis de varianza realizado identifica que la talla de los mejillones en Punta Banda durante febrero y julio fueron significativamente menores ($p < 0.01$) a todas las demás tallas de los organismos en el resto de las localidades analizadas. En general, las diferencias de talla en los mejillones analizados en las diferentes localidades no muestran una tendencia definida en su distribución espacial.

Peso húmedo

El peso húmedo de los mejillones, presentó una distribución espacial irregular a lo largo de toda el área de estudio (Fig. 3). En febrero, Punta Bandera registró el valor mayor (3.63 g) y Punta Banda el valor menor (2.15 g). Punta Bandera registró el peso húmedo significativamente mayor ($p < 0.01$) al resto de las demás localidades. Durante julio Punta Bandera presentó el valor mayor (4.08 g) el cual mantuvo una disminución

hasta Bajamar y posteriormente aumentó hasta Punta China, a partir de donde disminuyó hasta registrarse el valor menor (2.23 g) del peso húmedo en San Quintín. El análisis de varianza indicó algunas diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las localidades.

Índice de condición

La distribución espacial del índice de condición en los mejillones muestreados en febrero no mostró tendencias definidas en la zona de estudio, a excepción del valor mayor (110 mg cm^{-1}) registrado en Punta Bandera, el cual fue significativamente diferente ($p < 0.01$) a los registrados en mayoría de las otras localidades (Fig. 4). Se observó en las demás localidades la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$), pero ninguna mostró algún rasgo o característica importante en la distribución. En febrero, el valor menor (74.2 mg cm^{-1}) se presentó en Piedra Blanca. Para julio el valor mayor (135.8 mg cm^{-1}) del índice de condición se registró en Punta Bandera y el valor menor (75.9 mg cm^{-1}) en Piedra Blanca. El análisis de varianza indica que el índice de condición en Punta Bandera fue significativamente mayor ($p < 0.01$) al resto de las localidades. En julio la distribución espacial del índice de condición de los organismos fue similar a la del peso húmedo.

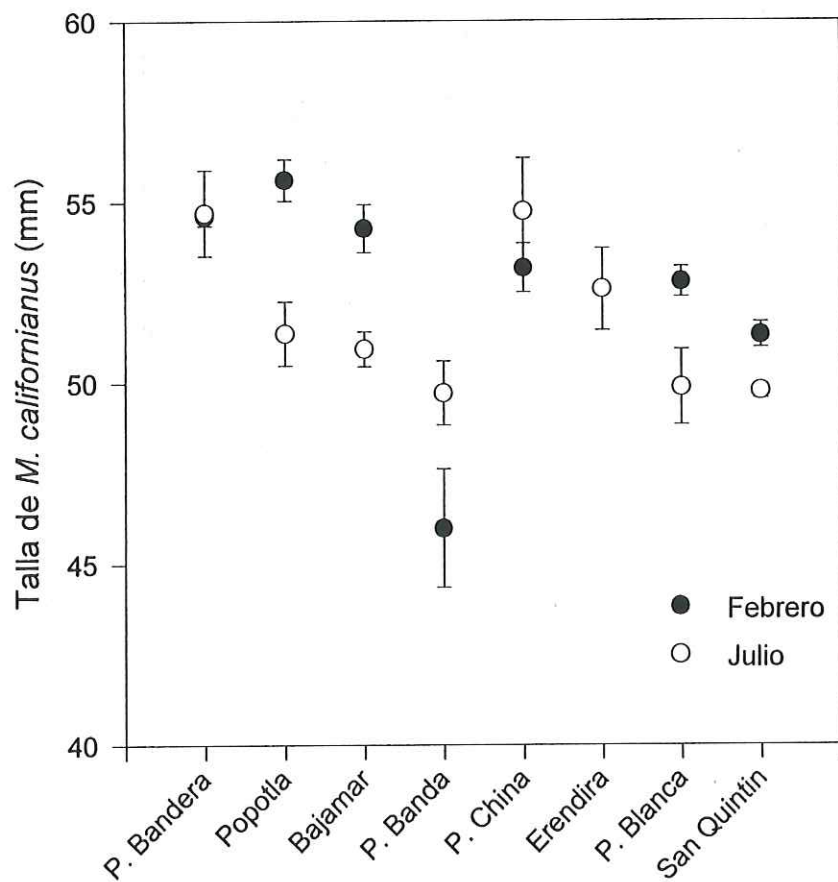


Figura 2. Variación espacial de la talla de *M. californianus* durante febrero y julio de 1994. Las barras verticales representan ± 1 error estándar y cada punto es la media de tres réplicas de 15 organismos cada una.

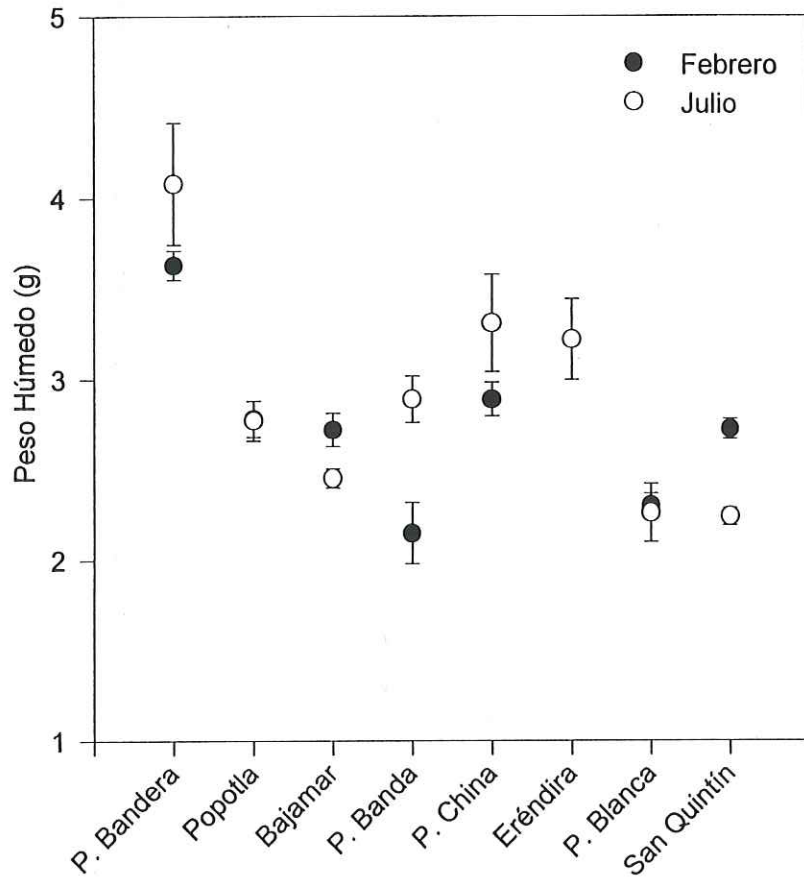


Figura 3. Variación espacial del peso húmedo de *M. californianus* durante febrero y julio de 1994. Las barras verticales representan ± 1 error estándar y cada punto es la media de tres réplicas de 15 organismos cada una.

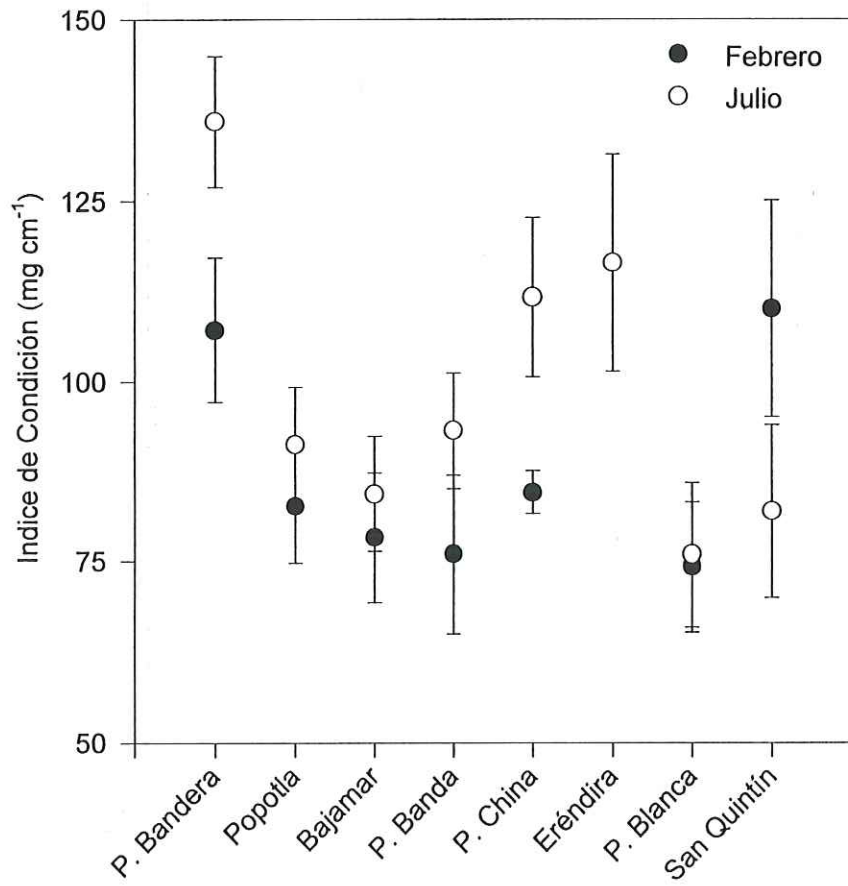


Figura 4. Variación espacial del índice de condición de *M. californianus* durante febrero y julio de 1994. Las barras verticales representan ± 1 error estándar y cada punto es la media de tres réplicas de 15 organismos cada una.

algún rasgo o característica importante en la distribución. En febrero, el valor menor (74.2 mg cm^{-1}) se presentó en Piedra Blanca. Para julio el valor mayor (135.8 mg cm^{-1}) del índice de condición se registró en Punta Bandera y el valor menor (75.9 mg cm^{-1}) en Piedra Blanca. El análisis de varianza indica que el índice de condición en Punta Bandera fue significativamente mayor ($p < 0.01$) al resto de las localidades. En julio la distribución espacial del índice de condición de los organismos fue similar a la del peso húmedo.

3.2 Metales pesados

3.2.1 Distribución espacial

Las concentraciones de Hg, Co, Ni y Fe en mejillón *M. californianus* analizados en las diferentes localidades del área de estudio se expresan en $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco.

Mercurio

La distribución espacial de Hg en *M. californianus* analizados durante febrero y julio en la zona de estudio se describe en la figura 5. Los resultados muestran un gradiente bien definido de norte a sur en las localidades examinadas. Punta Bandera, registro los valores mayores durante febrero (0.331) y julio (0.168). Los valores menores de Hg se observaron en San Quintin (0.094) durante febrero y en la localidad de Erendira (0.053)

sur del área (Fig. 6). Los valores mayores de Co se presentaron en Punta China (2.06) en febrero y en Piedra Blanca (2.98) durante julio. Mientras que las concentraciones menores de Co se registraron en Punta Banda (0.84) durante febrero y en Punta Bandera (0.59) en julio.

El análisis de varianza indica que en febrero no se observaron diferencias significativas ($p < 0.01$) de Co entre las localidades examinadas. Sin embargo, en julio se muestra que los valores de Co en Piedra Blanca y San Quintín son significativamente mayores al resto de las otras localidades.

Níquel

La distribución espacial de Ni en *M. californianus* se presenta en la figura 7. Los resultados muestran una variación espacial no definida de este metal en febrero y julio. Los valores mayores de Ni se registraron en Punta Bandera (2.07) en febrero y en la localidad de San Quintín (1.83) durante julio. Los valores menores de Ni se observaron en Piedra Blanca (0.79) en febrero y en Eréndira (0.58) en julio.

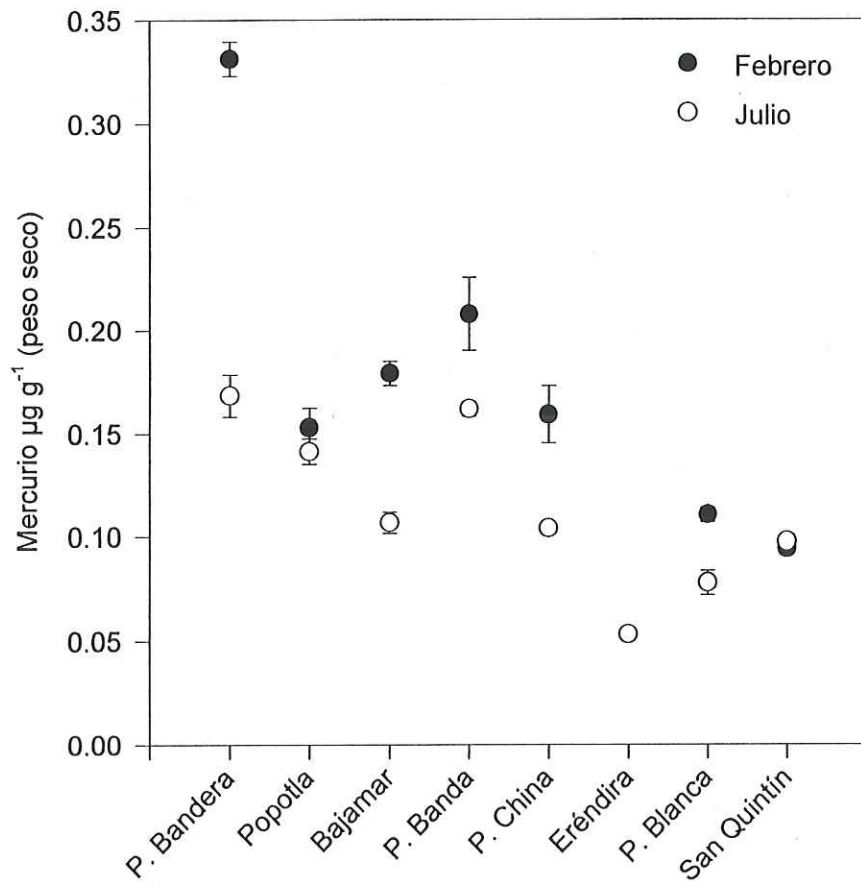


Figura 5. Distribución espacial de mercurio en *M. californianus* durante febrero y julio de 1994. Las barras verticales representan ± 1 error estándar y cada punto es la media de tres réplicas de 15 organismos cada una.

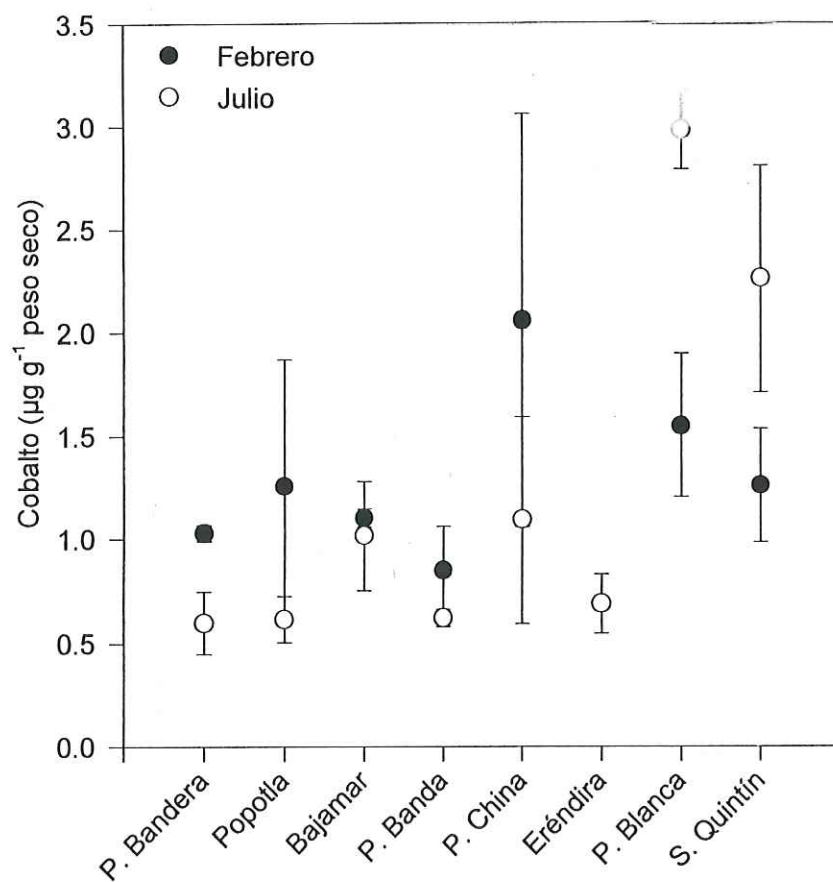


Figura 6. Distribución espacial de cobalto en *M. californianus* durante febrero y julio de 1994. Las barras verticales representan ± 1 error estándar y cada punto es la media de tres réplicas de 15 organismos cada una.

Popotla y Bajamar presentaron concentraciones de Ni significativamente mayores ($p < 0.01$) a la detectada Eréndira durante julio. A excepción de ésta, no se encontró alguna otra diferencia significativa entre localidades en febrero y julio.

Fierro

La distribución espacial de Fe en los mejillones analizados en el área de estudio se señalan en la figura 8. Los resultados, muestran en general un patrón de comportamiento con mayores concentraciones de Fe en la parte norte (Punta Bandera, 515 a Bajamar, 504) y sur (Piedra Blanca, 392 y San Quintín, 408) y valores menores en la localidad del centro del área investigada. Sin embargo, Punta China, a pesar de ser una localidad del centro del área de estudio, registró los niveles mayores de Fe en febrero (1142) y julio (529).

Los valores menores de Fe se presentaron en Punta Banda en febrero (186) y julio (72). El análisis de resultados señala diferencias significativas ($p < 0.05$) entre estaciones en ambos meses de muestreo.

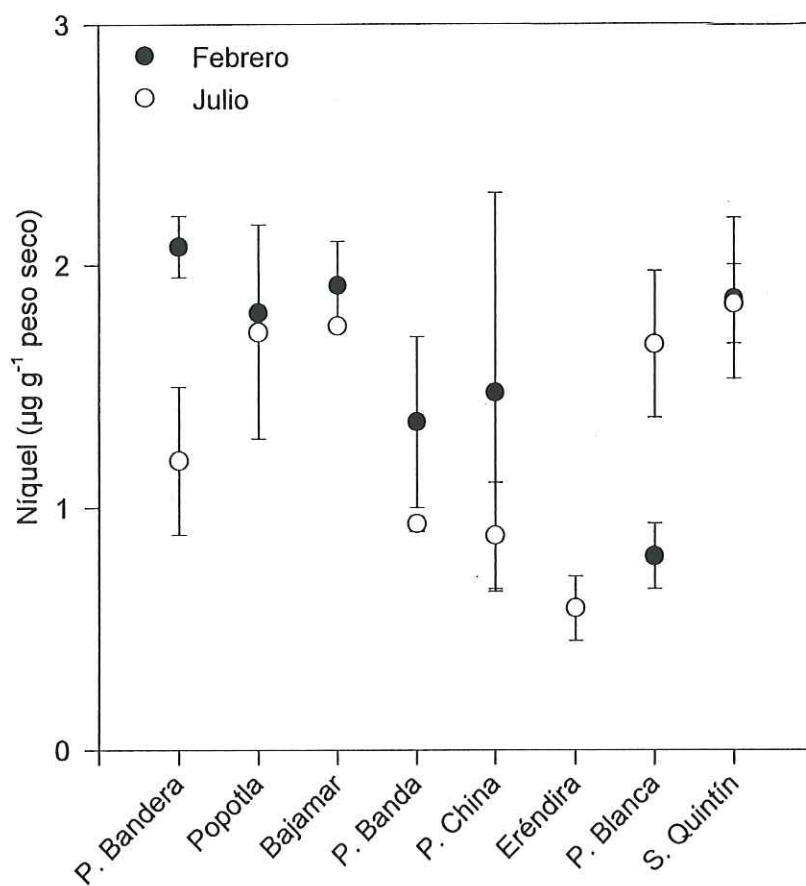


Figura 7. Distribución espacial de níquel en *M. californianus* durante febrero y julio de 1994. Las barras verticales representan ± 1 error estándar y cada punto es la media de tres réplicas de 15 organismos cada una.

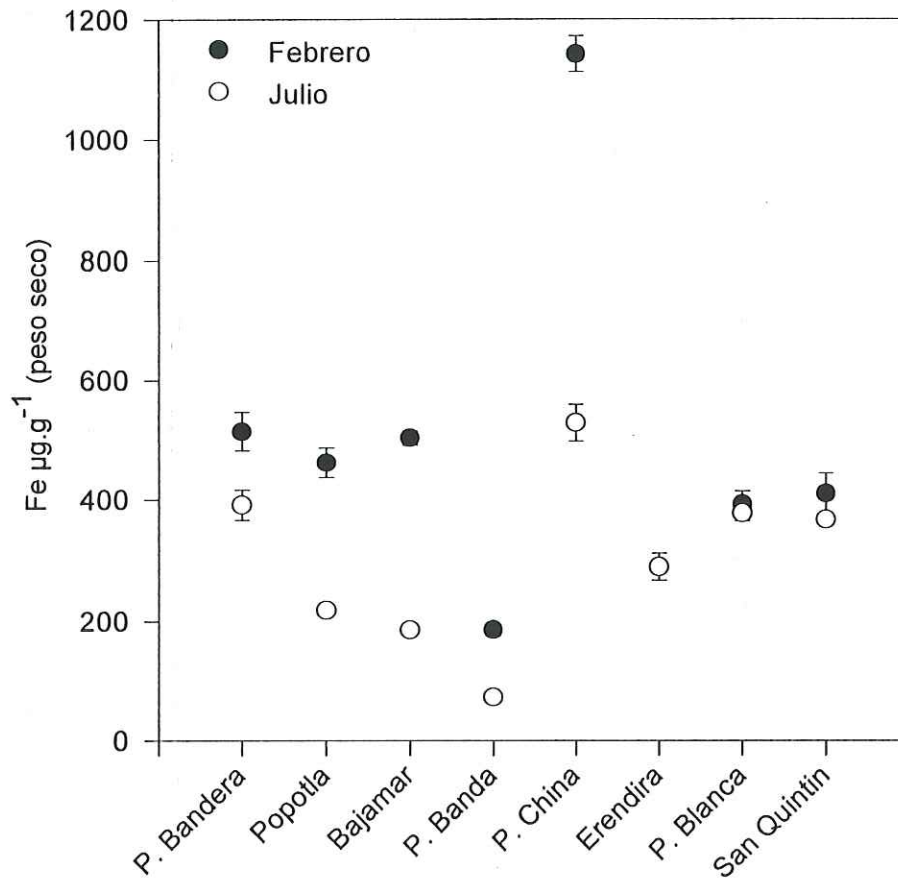


Figura 8. Distribución espacial de fierro en *M. californianus* durante febrero y julio de 1994. Las barras verticales representan ± 1 error estándar y cada punto es la media de tres réplicas de 15 organismos cada una.

3.2.2 Matriz de correlación entre metales y características biológicas.

La matriz de correlación producto-momento de Pearson entre las concentraciones de Hg, Co, Ni y Fe en el tejido blando de *M. californianus*, con las características biológicas y la distancia a una zona de influencia antropogénica (Punta Bandera) (DZIAC) para febrero y julio se describe en la Tabla II. Los resultados indican que en febrero ninguna de las características biológicas (talla, peso húmedo e índice de condición) correlacionaron significativamente ($p < 0.05$) con los metales analizados en este estudio. Así como también, los resultados señalan la no existencia de correlación significativa entre la variable DZIAC y los metales examinados. En febrero, el análisis estadístico mostró una sola correlación significativa ($r = 0.84$, $p < 0.05$) entre el Fe y el

Cobalto.

Durante el muestreo de mejillones en julio, los resultados indican correlaciones significativas entre el Hg y el peso húmedo del organismo ($r = 0.73$, $p < 0.05$), así como también, entre el Co y la variable DZIAC ($r = 0.74$, $p < 0.05$) (Tabla II). Los resultados no indican la existencia de alguna correlación entre los metales analizados en julio. En cuanto a las características biológicas se detectaron correlaciones significativas entre la talla y el índice de condición ($r = 0.88$, $p < 0.05$), así como también, entre la talla y el peso húmedo ($r = 0.74$, $p < 0.05$) y entre el peso húmedo y el índice de condición ($r = 0.75$, $p < 0.05$) del organismo.

Tabla II. Matriz de correlación producto momento de Pearson entre la concentración de metales en tejido blando de *M. californianus*, características biológicas y distancia a una zona de influencia antropogénica considerable (Punta Bandera) para febrero (n=7) y julio (n=8) de 1994. Las correlaciones marcadas (*) son significativas a $p < 0.05$.

FEBRERO								
	Co	Fe	Ni	Hg	Talla	P.H.	Dist.	I.C.
Co	1.00							
Fe	*0.84	1.00						
Ni	-0.38	0.08	1.00					
Hg	-0.44	-0.02	0.46	1.00				
Talla	0.33	0.43	0.38	0.08	1.00			
P.H.	0.03	0.40	0.72	0.65	0.63	1.00		
DZIAC	0.30	-0.07	-0.40	-0.75	-0.37	-0.46	1.00	
I.C.	-0.13	0.06	0.65	0.26	0.18	0.69	0.20	1.00

JULIO								
	Co	Fe	Ni	Hg	Talla	P.H.	Dist	I.C.
Co	1.00							
Fe	0.37	1.00						
Ni	0.52	-0.07	1.00					
Hg	-0.49	-0.32	0.07	1.00				
Talla	-0.51	0.58	-0.52	0.14	1.00			
P.H.	-0.50	0.28	-0.29	*0.73	*0.74	1.00		
DZIAC	*0.74	0.28	0.12	-0.65	-0.47	-0.66	1.00	
I.C.	-0.63	0.33	-0.68	0.27	*0.88	*0.75	-0.47	1.00

P.H.= Peso húmedo.

DZIAC.= Distancia a zona de influencia antropogénica considerable.

I.C.= Índice de condición.

3.2.3 Análisis de correlación de Pearson entre metales y de agrupamiento entre metales y entre localidades de muestreo utilizando los elementos analizados en este estudio y los descritos en otro trabajo para la misma zona.

Para efecto de integrar conocimiento sobre el comportamiento de metales pesados en la costa noroccidental de Baja California mediante el uso de *M. californianus* como bioindicador, se realizaron análisis estadísticos que incluyeran los valores de Co, Fe, Ni y Hg obtenidos en este trabajo con los valores de Ag, Al, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn obtenidos por Muñoz-Barbosa *et al.* (2000). Las concentraciones de los elementos descritos en ambas investigaciones fueron obtenidas a partir de los mismos organismos muestreados durante febrero y julio del 1994 en la zona de estudio.

La matriz de correlación producto-momento de Pearson entre la concentración de metales en tejido blando de *M. californianus* para febrero y julio se presentan en la Tabla III. El análisis de agrupamiento entre metales para febrero y julio se describen en la Fig. 9. El dendograma del análisis de agrupamiento entre localidades se señala en la Fig. 10. Para estos dos últimos análisis se utilizó la transformación \log_{10} de la concentración de metales.

Tabla III. Matriz de correlación producto momento de Pearson entre la concentración de metales en tejido blando de *M. californianus* para febrero (n=7) y julio (n=8) de 1994. Las correlaciones marcadas (*) son significativas a $p < 0.05$.

FEBRERO				
	Co	Fe	Ni	Hg
**Ag	-0.40	-0.05	0.53	*0.93
**Al	0.71	*0.94	0.31	0.09
**Cd	*0.78	0.44	-0.74	-0.64
**Cr	0.22	0.51	0.65	0.15
**Cu	0.48	0.70	0.23	0.50
**Mn	*0.87	*0.96	-0.12	-0.07
**Pb	-0.36	-0.07	0.44	*0.89
**Zn	0.26	0.49	0.11	0.63

JULIO				
	Co	Fe	Ni	Hg
**Ag	-0.49	-0.04	0.10	*0.72
**Al	0.04	*0.88	-0.06	-0.04
**Cd	0.69	0.08	-0.10	-0.61
**Cr	0.34	0.03	*0.78	0.41
**Cu	-0.01	0.07	0.55	0.68
**Mn	0.43	*0.92	-0.20	-0.39
**Pb	-0.34	-0.50	-0.15	*0.77
**Zn	0.31	-0.24	*0.74	0.37

**Muñoz-Barbosa, *et al.* (2000)

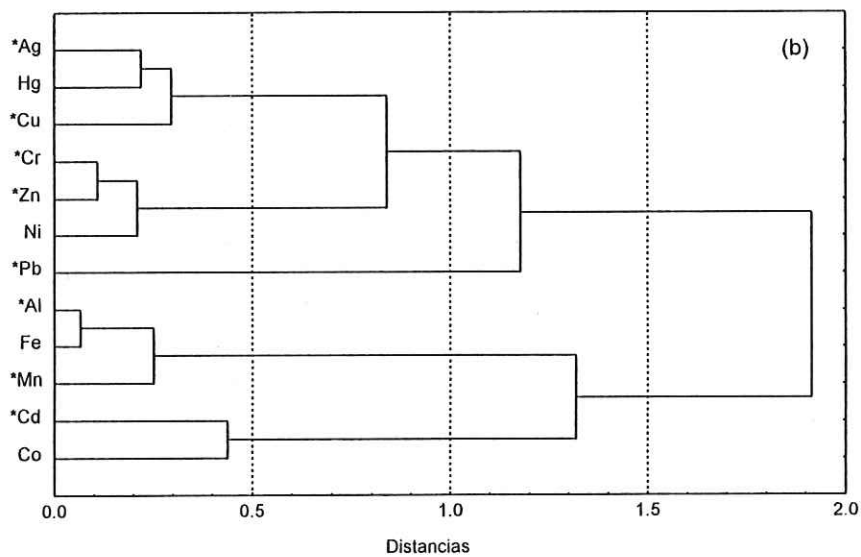
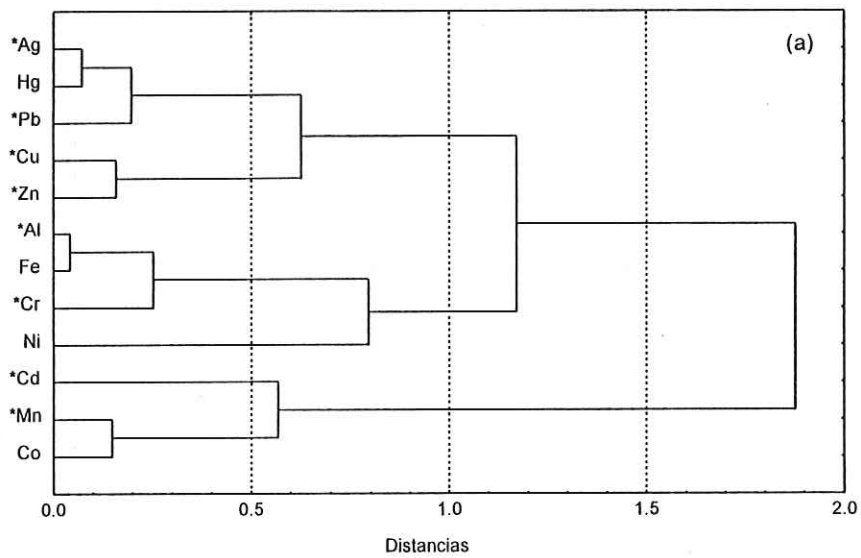


Fig. 9. Dendrograma del análisis de agrupamiento entre metales de febrero (a) y julio (b) de 1994. En el análisis se utilizó la transformación \log_{10} de la concentración de metales en tejido blando de *M. californianus*. *Muñoz-Barbosa *et al.*, (2000).

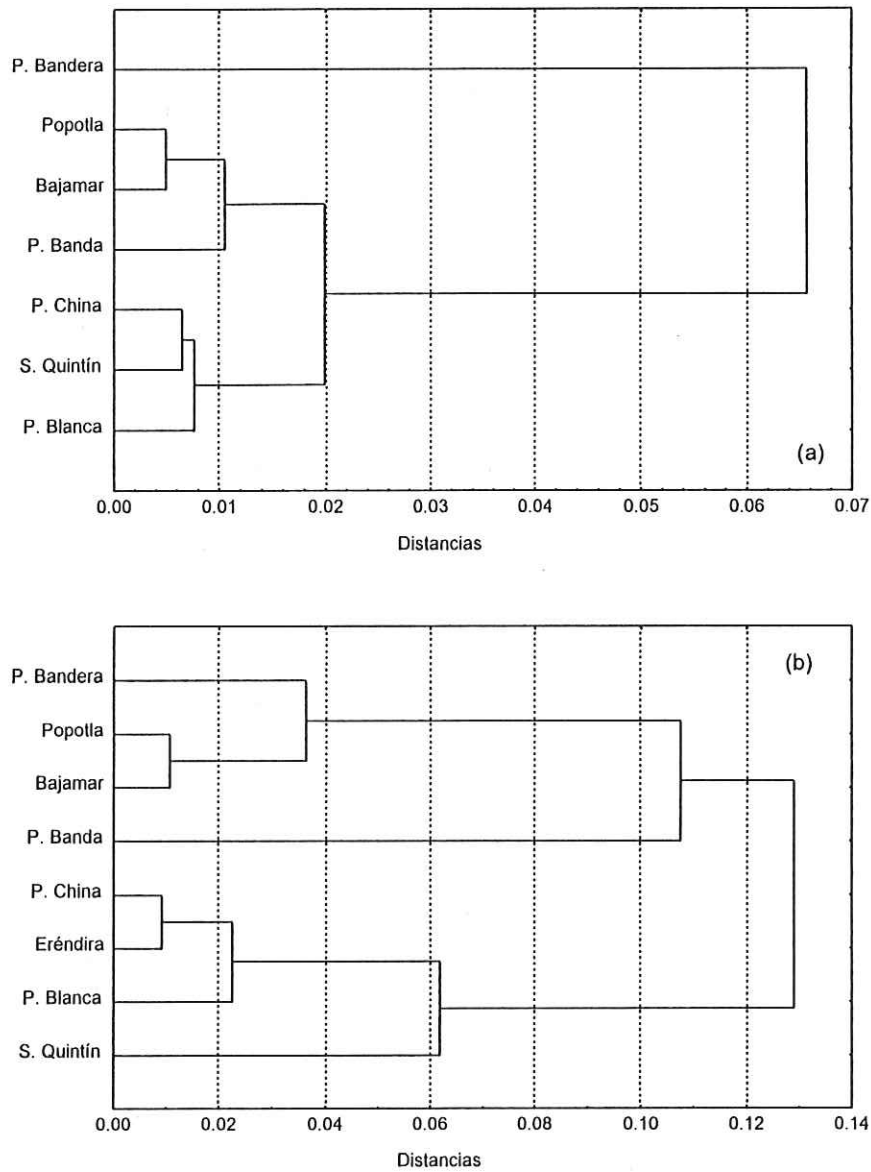


Fig. 10. Dendrograma del análisis de agrupamiento entre localidades de muestreo de febrero (a) y julio (b) de 1994. En el análisis se utilizó la transformación \log_{10} de la concentración de metales en tejido blando de *M. californianus*. En esta prueba se utilizaron las concentraciones de metales de este estudio y los metales descritos por Muñoz-Barbosa et al., (2000).

4. DISCUSION

Las localidades de la costa noroccidental de Baja California analizadas en este estudio, difieren en densidad poblacional y su medio ambiente marino ha sido utilizado con propósitos de actividades recreativas, comerciales, pesqueras e industriales, las cuales han contribuido de alguna manera en la distribución de las cantidades de contaminantes aportados a la zona costera. La localidad de Punta Bandera es considerada como una zona de influencia antropogénica por metales (Muñoz-Barbosa, *et al.*, 2000). En este estudio los resultados señalan, en general, que las distribuciones espaciales de los elementos analizados en *M. californianus* pueden estar ligadas a la influencia antropogénica y/o natural en el área de estudio.

En relación a las características biológicas de los organismos analizados, el estudio indica que no existe una tendencia definida en cuanto a la distribución espacial en la talla de los mejillones (Fig. 2). El peso húmedo de los organismos presentó una distribución irregular a lo largo del área de estudio y el índice de condición no mostró tendencias espaciales definidas en la zona estudiada, a excepción del valor registrado en Punta Bandera (Figs.3 y 4).

En la distribución espacial de metales a lo largo del área de estudio destaca que, la concentración de Hg en el mejillón indica que existe un gradiente norte a sur bien

definido. Los valores muestran una concentración mayor de Hg en Punta Bandera en febrero (0.331) y en julio (0.168) y una concentración menor en San Quintín (0.094), posiblemente debido a que en la zona norte se encuentran los mayores asentamientos humanos, las actividades socio-económicas más desarrolladas y la producción de desechos más importante (Fig. 5). Gutiérrez-Galindo y Flores-Muñoz (1986), en un estudio realizado con *M. californianus* para las mismas localidades de la zona, señalan concentraciones de Hg mayores (0.27-0.95 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) a los niveles de este metal (0.053-0.331 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) encontrados en este estudio. Lo anterior, indica que posiblemente se ha presentado una disminución en cuanto a la biodisponibilidad de Hg en el área examinada. El Hg en los mejillones analizados a lo largo de la costa noroccidental de Baja California presentaron concentraciones por debajo al nivel permitido (0.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo) en algunos países para el consumo humano (WHO, 1976).

La concentración de Co en *M. californianus*, se identificó que durante julio se presentó una tendencia a mostrar una distribución espacial con concentraciones significativamente mayores ($p < 0.01$) en las localidades de Piedra Blanca y San Quintín (Fig. 6). Para el Ni en *M. californianus*, los valores indicaron una distribución espacial no definida en ambos meses de muestreo. Los valores mayores de Ni fueron registrados en Punta Bandera y en San Quintín y los valores menores en Piedra Blanca y Eréndira (Fig. 7.). Las diferencias espaciales de Fe en el tejido blando de los mejillones,

mostraron en general, un patrón de comportamiento con concentraciones mayores en la zona norte (Punta Bandera a Bajamar) y en el sur (Piedra Blanca y San Quintín) (Fig. 8). Las concentraciones menores de Fe en los organismos se registraron en Punta Banda. Sin embargo, Punta China registró las concentraciones mayores de Fe en los mejillones analizados en ambos meses. Esta localidad se ha caracterizado por una importante extracción de material pétreo para fines de uso en la industria cementera instalada en Ensenada, Baja California. Lo anterior puede ser la explicación, de las altas concentraciones de Fe en esta localidad.

Diversos autores señalan, que el comportamiento espacial de metales pesados en organismos bivalvos puede ser explicado por la variación de factores interactuantes extrínsecos (patrón de corrientes, proceso de mezcla, surgencias, productividad, lluvias) y a diferencias estacionales debido a la concentración de metales en la columna de agua y/o a mecanismos de acumulación, almacenamiento y excreción de metales en los organismos (Phillips, 1977; Simkiss y Mason, 1983; Roesijadi y Robisonson, 1994). Según Frías-Espéricueta *et al.* (1999), los factores principales que regulan las concentraciones de metales pesados en los tejidos de los bivalvos son la cantidad en la columna de agua (disuelta y/o particulada) y algunos parámetros biológicos (ciclo reproductivo). En este estudio se identificó que el patrón de las concentraciones promedio de los metales en *M. californianus* a lo largo de la costa noroccidental de Baja California fue Fe>Ni>Co>Hg.

La matriz de correlación entre Hg, Co, Ni y Fe y las características biológicas de talla, peso húmedo e índice de condición de *M. californianus*, indica que durante febrero ninguna característica biológica correlacionó significativamente con los metales analizados (Tabla II). Únicamente, durante febrero se encontró una correlación significativa ($p < 0.05$) entre el Fe-Co ($r = 0.84$). Sin embargo, durante julio los valores indican correlaciones significativas ($p < 0.05$) entre el Hg-peso húmedo ($r = 0.73$) del organismo y entre el Co-DZIAC ($r = 0.74$). Los resultados para julio no indicaron alguna correlación significativa entre los metales. En relación a las características biológicas se detectaron correlaciones significativas entre la talla-índice de condición ($r = 0.88$, $p < 0.05$), la talla-peso húmedo ($r = 0.74$, $p < 0.05$) y el peso húmedo-índice de condición ($r = 0.75$, $p < 0.05$). Los resultados indican que no hubo por lo general, una consistencia en las correlaciones entre los metales y entre los elementos y las características biológicas del organismo.

De acuerdo a Romeo y Gnassia-Barelli (1988) y Latouche y Mix (1982), algunos factores como la talla pueden afectar la concentración de metales pesados en moluscos. También la variabilidad en la concentración de metales en estos organismos puede ser debido a la tasa de filtración (Boyden, 1977), el sexo (Latouche y Mix, 1982) y a la época del año (Ouellette, 1981), así como también, existe la variabilidad no identificada con ningún proceso, conocida como residual (Lobel *et al.*, 1989). Una correlación inversa entre la concentración de metal y la talla puede ser atribuida a la dilución por el

crecimiento del organismo. Así como también, la independencia entre la concentración del metal y la talla sucede cuando existe un balance entre la tasa de incorporación y de excreción en los bivalvos (Usero *et al.*, 1996). Rainbow (1990), los metales Fe, Zn, Cu, Cr, Co, Mn y Ni juegan un papel importante en la bioquímica como factores enzimáticos y las correlaciones significativas entre metales y variables biológicas pueden ser debidas a las necesidades bioquímicas y/o a la secuestración pasiva de los metales debida a la unión intracelular del elemento. Sin embargo, la distribución de metales puede cambiar debido a procesos fisiológicos en los organismos (Frías-Espéricueta *et al.*, 1999).

Con el propósito de integrar conocimiento sobre el comportamiento de metales pesados en la costa noroccidental de Baja California mediante el uso de *M. californianus*, se analizaron conjuntamente los niveles de Co, Fe, Ni y Hg investigados en este estudio con los valores de Ag, Al, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn obtenidos por Muñoz-Barbosa *et al.*, (2000). El análisis de correlación entre la concentración de metales, de ambos estudios, en tejido blando del mejillón, indican para febrero una correlación significativa ($p < 0.05$) de Hg-Ag ($r = 0.93$), Hg-Pb ($r = 0.89$), Fe-Al ($r = 0.94$), Fe-Mn ($r = 0.96$), Co-Cd ($r = 0.78$) y Co-Mn ($r = 0.87$). Para julio, se observaron coeficientes de correlación similares a febrero de Hg-Ag ($r = 0.72$), Hg-Pb ($r = 0.77$), Fe-Al ($r = 0.88$), Fe-Mn ($r = 0.92$), Ni-Cr ($r = 0.78$) y Ni-Zn ($r = 0.74$) (Tabla III). La correlación positiva entre los metales analizados puede ser debido a fuentes comunes de aportes naturales y/o antropogénicos, también a su covariación en la fase disuelta o particulada y

a mecanismos similares de incorporación de los metales por los organismos (Preston *et al.*, 1972; Phillips, 1980; Broman *et al.*, 1991).

Martin *et al.* (1988), han encontrado que la Ag es un excelente trazador de descargas residuales y que en general, la concentración de este metal decrece proporcionalmente conforme se incrementa la distancia a la fuente de descarga. Su estudio, reporta un gradiente de Ag en *M. californianus* de norte a sur (de Imperial Beach, San Diego, USA a Punta Abreojos, Baja California Sur) y las concentraciones altas en el norte las atribuye a descargas municipales. Sañudo-Wilhelmy y Flegal (1992), en un estudio realizado de la frontera México-EUA a San Quintín, B.C., encontraron también que la concentración de Ag en las aguas cercanas a la costa (<100 m) presenta un gradiente norte a sur. Estos autores realizaron un balance de masas y sus resultados muestran que el flujo completo de Ag en la zona pudo ser derivado de la descarga de aguas residuales de la planta de tratamiento de Point Loma, San Diego. Además, calculan razones Pb/Ag y determinan que las características de esta razón sugieren que la mayoría de la Ag encontrada en su estudio proviene, principalmente, de la descarga de aguas residuales en Punta Loma, San Diego y no de la descarga de aguas residuales de Tijuana, B.C. en Punta Bandera.

Diversos estudios han señalado que la concentración de Pb en agua de mar (Patterson *et al.*, 1976; Bruland, 1983; Boyle *et al.*, 1994), en sedimentos (Villaescusa-

Celaya *et al.*, 1997) y en organismos (Chow *et al.*, 1976; Stephenson y Leonard, 1994) se encuentra, al igual que la Ag, estrechamente vinculada con las actividades del hombre. El Pb ingresa al ambiente marino predominantemente vía atmosférica y la Ag lo hace vía aguas residuales. Sin embargo, a pesar de sus diferentes vías de acceso, el tener una fuente común y similitudes biogeoquímicas podría producir covariación entre ellos.

Muñoz-Barbosa *et al.* (2000), encontró que la distribución espacial de la concentración de Ag y el Pb en *M. californianus* de la costa noroccidental de Baja California podría estar influenciada antropogénicamente a causa de las descargas de aguas residuales y a las emisiones de Pb industrial cerca de la localidad Punta Bandera. El hallazgo de que las concentraciones de Hg encontradas en este estudio presenten correlaciones significativas en febrero y en julio con las concentraciones de Ag y Pb del estudio antes mencionado, sugiere que la distribución espacial de Hg podría también estar influenciada antropogénicamente.

El dendograma del análisis de agrupamiento entre metales identificó tres grupos definidos en febrero: el Ag-Hg-Pb-Cu-Zn; el Al-Fe-Cr-Ni; y el tercer grupo Cd-Mn-Co. Para julio, el patrón de agrupamiento, mostró cinco grupos definidos: el Ag-Hg-Cu; el Cr-Zn-Ni; el Pb; el Al-Fe-Mn y el quinto grupo Cd-Co (Fig. 9). El hecho de que el Hg se agrupe con Ag y Pb en febrero y con Ag en julio, indica la posibilidad que el Hg está influenciado antropogénicamente. La similitud entre las distribuciones de estos metales

puede deberse a que aportes de estos elementos están asociados a zonas más urbanizadas como las que se presentan en la parte norte de la zona de estudio. Geográficamente tienen una fuente común y esto puede producir las distribuciones espaciales similares.

El dendograma del análisis de agrupamiento entre localidades de muestreo en febrero, identifica tres grupos: la localidad de Punta Bandera; la asociación de Popotla-Bajamar-Punta Banda; y el tercer grupo de Punta China-Piedra Blanca-San Quintín. Para julio, el análisis de agrupamiento fue, en general, similar al registrado en febrero. Las localidades se agruparon en tres grupos de acuerdo a su posición geográfica en el área: Punta Bandera-Popotla-Bajamar; Punta Banda; y el tercer grupo Punta China-Eréndira-Piedra Blanca-San Quintín (Fig. 10). En general, para ambos meses de muestreo, el primer grupo incluye a las localidades del norte, otro a las localidades del centro y el tercer grupo a las localidades del sur de la zona de estudio. La integración de estas tres zonas geográficas se debe principalmente a los metales (Hg, Ag, Pb, Cd) que mostraron gradientes espaciales de concentración en *M. californianus* o características consistentes en la distribución de Fe, Al y Mn en los muestreos realizados.

Este estudio constituye una contribución para la evaluación de los niveles de Hg, Co, Ni y Fe en la costa noroccidental de Baja California. Es además, un complemento a los estudios de contaminación por metales pesados realizados con anterioridad en esta región costera. Las concentraciones de los elementos encontrados en el mejillón *M.*

californianus proporcionan una evidencia que este organismo es sensible como bioindicador. A este respecto, a sido reconocido que los bivalvos, en particular, los mejillones, son buenos indicadores de la acumulación de los metales pesados que se encuentran en una fase disponible en el agua y en alimento del medio acuático marino (Phillips, 1977; Phillips y Rainbow, 1993; Rainbow, 1995).

5 CONCLUSIONES

Las características biológicas de los organismos, indicaron que no existe una tendencia definida en cuanto a la distribución espacial en la talla de *M. californianus*. El peso húmedo de los mejillones presenta una distribución irregular a lo largo del área de estudio y el índice de condición no mostró tendencias espaciales definidas a excepción del valor registrado en Punta Bandera.

En la distribución espacial de metales en el área examinada, se destaca que la concentración de Hg en los organismos muestra un gradiente norte a sur bien definido. Posiblemente lo anterior, es debido a una mayor aportación antropogénica y biodisponibilidad de este elemento en la parte norte. El Hg en los mejillones analizados presentó concentraciones por debajo al nivel permitido ($0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo) en algunos países para consumo humano.

En relación al comportamiento de la distribución espacial de Co, se observó que durante febrero y julio se presentó una tendencia a mostrar una distribución de concentraciones mayores en las localidades de la parte centro-sur del área (Punta China, Piedra Blanca y San Quintín). Para el Ni, los valores indicaron una distribución espacial no definida en ambos meses de muestreo. Las diferencias espaciales de Fe muestran, en general, concentraciones mayores en la parte norte (Punta Bandera a Bajamar) y en el sur

(Piedra Blanca y San Quintín). El patrón de las concentraciones promedio de los metales en los mejillones a lo largo de la costa noroccidental de Baja California fue Fe>Ni>Co>Hg.

La matriz de correlación entre los metales y las características biológicas, indica que durante febrero ninguna variable biológica correlacionó significativamente con los metales analizados. Únicamente durante febrero se encontró una correlación significativa entre el Fe-Co. Durante julio los valores indicaron correlaciones significativas positiva entre el Hg-Peso Húmedo y entre el Co-DZIAC. En julio no se encontró alguna correlación significativa entre los metales.

En relación a las características biológicas se detectaron correlaciones significativas entre la Talla-Índice de Condición, Talla-Peso Húmedo y el Peso Húmedo-Índice de Condición. Los resultados concluyen, que no hubo en general, una consistencia en las correlaciones entre los metales y entre los elementos y las variables biológicas de *M. californianus*.

El hallazgo de que las concentraciones de Hg encontradas en este estudio presentan correlaciones significativas en febrero y julio con las concentraciones de Ag y Pb señaladas por Muñoz-Barbosa et al., (2000) para la misma zona, sugiere que la distribución espacial de Hg puede estar influenciada antropogénicamente.

El dendograma del análisis de agrupamiento entre metales, identifica varios grupos definidos durante febrero y julio. La similitud entre las distribuciones de estos metales puede deberse a que aportes de estos elementos a la zona costera, están asociados a zonas mayormente urbanizadas como las que se presentan en la parte norte del la zona de estudio. Geográficamente, tienen una fuente común y esto puede producir las distribuciones espaciales similares.

El dendograma del análisis de agrupamiento entre localidades identificó para febrero y julio tres grupos. En general, el primer grupo incluye las localidades del norte, el segundo a las localidades del centro y el tercer grupo a las localidades del sur de la zona. La integración de estas tres zonas se debe principalmente al Hg, Ag, Pb y Cd que muestran gradientes espaciales de concentración en *M. californianus* o características consistentes en la distribución de Fe, Al y Mn en los muestreos realizados.

La concentración de los metales encontrados en *M. californianus*, proporcionan una evidencia que este organismo es sensible para su utilización como bioindicador.

6 LITERATURA CITADA

Alvarez, L.G., Godínez, V.M. y Lavín, M.F. (1990). Dispersión en la franja costera de Tijuana, Baja California. *Ciencias Marinas*. 16(4):87-109.

Amiard, J.L., Amiard-Triquet, C. y Berthet, B. (1987). Comparative study of the pattern of bioaccumulation of essential (Cu, Zn) and non essential (Cd, Pb) trace metal in various estuarine and coastal organisms. *Journal of Marine Ecology* 106: 73-89.

Bakun, A. (1975). Daily and weekly upwelling indices, west coast of North America, 1967-73. NOAA Technical Reports, NMFS SSRF-693.

Beliaeff, B., O'Connor, T.P., Daskalakis, D.K. y Smith, P.J. (1997). U.S. mussel watch data from 1986 to 1994: Temporal trend detection at large spatial scales. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 37: 1411-1415.

Boalch, R., Chan, S. y Taylor D. (1981). Seasonal variation in the trace metal content of *Mytilus edulis*. *Marine Pollution Bulletin*. 12(8): 276-280.

Borchardt, T., Burchert, S., Hablizel, H., Karbe, L. y Zeitner R. (1988). Trace metal concentrations in mussels: comparison between estuarine, coastal and offshore

regions in the southeastern North Sea from 1983 to 1986. *Marine Ecology Progress Series*. 42:17-31.

Boyden, C.R. (1977). Effect of size upon metal content of shellfish. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 5: 675-714.

Boyle, E.A., Sherrel R.M. y Bacon M.P. (1994). Lead variability in the western North Atlantic Ocean and central Greenland ice: Implications for the search for decadal trends in anthropogenic emissions. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 58 (11): 3227-3238.

Broman, D., Lindquist, L. y Lundberg, I. (1991). Cadmium an zinc in *Mytilus edulis* L. from Bothnian Sea and the northern Baltic proper. *Environ. Pollut.* 74: 227-244.

Bruland, K.W. (1983). Trace Elements in Sea-water. In: J.P. Riley and R. Chester. (Eds.). *Chemical Oceanography*. Academic Press. London. 5: 157-220.

Cantillo, A.Y. (1998). Comparison of results of Mussel Watch Programs of the United States and France with worldwide mussel watch studies. *Mar. Pollut. Bull.* 36: 712-717.

Chow, T.J., Snyder, H.G. y Snyder, C.B. (1976). Mussels (*Mytilus* sp.) as an indicator of lead pollution. *The Science of Total Environment*. (6): 55-63.

Coleman, N. (1980). The effect of emersion on cadmium accumulation by *Mytilus edulis*. *Marine Pollution Bulletin*. 11(12): 359-362.

Delgadillo-Hinojosa, F., Macías-Zamora, J.V., Segovia-Zavala, J.A. y Torres-Valdes, S. (2001). Cadmium enrichment in The Gulf of California. *Marine Chemistry*. (75): 109-122.

Dorman, E.C. y Palmer D.P. (1981). Southern California summer coastal upwelling. In: P.H. Richards (Ed.), *Coastal Upwelling*. Amer. Geoph. Union. Washington, D.C., pp. 49-55.

Frías-Espéricueta, M.G., Osuna-López, J.I., Sandoval-Salazar, G. y López-López, G. (1999). Distribution of trace metals in different tissues of in the rock oyster *Crassostrea iridiscens*: Seasonal variations. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* Vol. 63, pp. 73-79.

- Garrels, R.M., Mackenzie, F.T. y Hunt, C. (1975). Chemical cycles and the global environment. Assessing human influences. William Kaufmann. Los Altos, California, 206 .
- Gault, N.F.S., Tollandand, E.L.C. y Parker J.G. (1983). Spatial and temporal trends in heavy metal concentrations in mussels from Northern Ireland coastal waters. *Marine Biology*. (77): 307-316.
- Goldberg, E.D. (1975). The mussel watch - a first step in the global marine monitoring. *Marine Pollution*. (6): 111.
- Goldberg, E.D., Koide, M., Hodge, V., Flegal, A.R. y Martin, J. (1983). U.S. mussel watch: 1977-78 results on trace metals and radionuclides. *Estuar. Coastal Shelf Sci.* (16): 69-63.
- Gómez-Valdez, J. (1983). Estructura hidrográfica promedio frente a Baja California. *Ciencias Marinas*. 9(2): 75-86.
- González-Morales, A.T. y Gaxiola-Castro, G. (1991). Variación día a día de características fisicoquímicas, biomasa y productividad primaria del fitoplancton

en una zona de surgencia costera de Baja California. *Ciencias Marinas*. 17(3): 21-37.

Groves, R.D. (1977). *Environmental studies. South Texas outer continental shelf biology and chemistry*. Final Report to BLM.

Gordon, M., Knauer, G.A. y Martin, J.H. (1980). *Mytilus californianus* as a bioindicator of trace metal pollution: variability and statistical considerations. *Marine Pollution Bulletin*. 11(17): 195-198.

Gutiérrez-Galindo, E.A. y Flores-Muñoz, G. (1986). Disponibilidad biológica de mercurio en las aguas de la costa norte de Baja California. *Ciencias Marinas*. 12(2): 85-89.

Gutierrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G., Pro-García, R., Villaescusa-Celaya, J.A. y Gonzáles-Armenteros, J.A. (1991). Metales pesados en tejido y en biodepositos sedimentarios del ostión *Crassostrea gigas* de la zona de cultivo de Bahía San Quintín, B.C. México. *Revista de Investigaciones Marinas CICIMAR*. 16(1): 175-186.

- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G., Ortega-Lara, V. y Villaescusa-Celaya, J.A. (1994a). Metales pesados en sedimentos de la costa fronteriza de Baja California, (México)-California, E.U.A. *Ciencias Marinas*. 20 (1): 105-124.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G., Villaescusa-Celaya, J.A. y Arreola-Chimal A. (1994b). Spatial and temporal variations of arsenic and selenium in a biomonitor (*Modiolus capax*) from the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*. 28(5): 330-333.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Villaescusa-Celaya, J.A. y Arreola-Chimal, A (1999). Bioaccumulation of metals in mussels from four sites of the coastal region of Baja California. *Ciencias Marinas*. 25(4): 557-578.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., y Muñoz-Barbosa, A. (2001). Short term temporal variability of Ag, Cd and Cu in *Mytilus californianus* and the effectiveness of this organism as bioindicator. *Ciencias Marinas*. 27 (2) : 269-288.
- Haynes, D. y Toohey, D. (1998). The use of transplanted cultured mussels (*Mytilus edulis*) to monitor pollutants along the Ninety Mile Beach, Victoria, Australia III. Heavy Metals. *Mar. Pollut. Bull.* 30 (5): 396-399.

- Lantzy, R. y Mackenzie, F.T. (1979). Atmosphere trace metals: Global cycles and assessment of man's impact, *Geochimica Cosmochimica Acta*, (43): 511-525.
- Lares-Reyes, Ma. L.C. (1988). Variación temporal de cadmio y mercurio biodisponibles en una zona de surgencias costera. Tesis de Maestría en Oceanología. CICESE. 99
- Latouche, Y.D. y Mix, M.C. (1982). The effects of depuration, size and sex on trace metal levels in bay mussels. *Marine Pollution Bulletin*. 13 (1): 27-29.
- Lauenstein, G.G., Robertson, A. y O'Connor, T.P. (1990). Comparison of trace metal data in mussels and oysters from a Mussel Watch Program of the 1970's with those from 1980's program. *Marine Pollution Bulletin*. 21 (9): 440-447.
- Lobel, P.B., Belknode, S.P., Jackson, S.E. y Longerich, H.P. (1989). A universal method for quantifying and comparing the residual variability of element concentrations in biological tissues using 25 elements in the mussel *Mytilus edulis* as a model. *Marine Biology*. (102): 513-518.
- Lynn, R.J., Bliss, A. y Eber, L.E. (1982). Vertical and horizontal distributions of seasonal mean temperature, salinity, sigma-t, stability, dynamic height, oxygen and oxygen saturation in the California Current, 1950-1978. *CalCOFI Atlas* 30, 513.

- Martin, M., Stephenson, M.D., Smith, D.R., Gutiérrez-Galindo, E.A. y Flores-Muñoz, G. (1988). Use of silver in mussels as a tracer of domestic wastewater discharge. *Marine Pollution Bulletin*. 9 (10): 512-520.
- Mearns, A.J. (1973). Southern California inshore demersal fishes: diversity, distribution and disease as response to environmental quality. *CalCOFI Rep.*, (XVII): 141-148
- Moukrim, A., Kaaya, A., Najimi, S., Romeo, M., Gnassia-Barelli, M., Nearbonne, J.F. (2000). Assesment of the trace metals levels in two species of mussels from the Agadir Marine Bay, South of Morocco. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (65): 478-485.
- Muñoz-Barbosa, A., Gutiérrez-Galindo, E.A. y Flores-Muñoz, G. (2000). *Mytilus californianus* as indicator of heavy metals in the northwest coast of Baja California, Mexico. *Marine Environmental Research*. 49 (2): 123-144.
- O'Conner, T.P. (1996). Trends in chemical concentrations in mussels and oysters collected along de U.S. coast from 1986 to 1993. *Marine Environmental Research*. (41): 183-200.

- Orren, M.J., G. Eagle, O'Henning, H.F.K y Green A. (1980). Variations in trace metals content of the mussel *Choromytilus meridionalis* (Kr) with season and sex. *Marine Pollution Bulletin*. (11): 253-257.
- Ouellette, T.R. (1981). Seasonal variations of trace metals in the mussel *Mytilus californianus*. *Environmental Conservation*. 8 (1): 53-58.
- Patterson, C.C., Settle D.M. y Glover B. (1976). Analisis of lead in polluted coastal seawater. *Marine Chemistry*. (4): 305-319.
- Pavía, E. y Reyes S. (1983). Variaciones espaciales y estacionales del viento superficial en la Bahía de Todos Santos, B.C. *Ciencias Marinas*. 9 (1): 151-167
- Phillips, D.J.H. (1976a). The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. I Effects of environmental variables on uptake of metals. *Marine Biology*. (38): 59-69.
- Phillips, D.J.H. (1976b). The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. II Relationship of metals in the mussel to those discharged by industry. *Marine Biology*. (38): 71-80.

Phillips, D.J.H. (1977). The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments - a review. *Environmental Pollution*. (13): 281-317.

Phillips, D.J.H. (1980). Quantitative aquatic biological indicators. Applied Science Publishers LTD Ed. England.

Phillips, D.J.H. y Rainbow, P.S. (1993). Biomonitoring of trace aquatic contaminants. London: Elsevier Applied Science.

Preston, A., Jefferies, D.F., Dutton, J.W.R., Harvey, B.R. y Steele, A.K. (1972). British Isles Coastal Waters: The concentration of selected heavy metals in sea water, suspended matter and biological indicators: a pilot survey. *Environ. Pollut.* (3): 69-82.

Rainbow, P.S. (1990). Heavy metals in marine invertebrate . In: Furnes and Rainbow (ed). Heavy metals in the marine environment, CRC Press, 255.

Rainbow, P.S. (1995). Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. (31):183-192.

- Rainbow, P.S. y Blackmore, G. (2001). Barnacles as biomonitors of trace metals availabilities in Hong Kong coastal waters: change in space and time. *Marine Environmental Research*. (51): 441-463.
- Revuelta-Cortés, A. (1995). Biodisponibilidad espacio-temporal de metales traza (Ag, Cd, Cu y Mn) en zonas de surgencia costera. Tesis de Licenciatura en Oceanología. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 52 .
- Reynoso-Nuño, H.E. y Jorajuria, A. (1988). Distribución de metales pesados en la costa occidental de la Península de Baja California, usando *Mytilus californianus* como organismos centinelas. *Ciencias Marinas*. 14 (4): 101-116
- Roesijadi, G. y Robinson, W.E. (1994). Metal regulation in aquatic animals: Mechanisms of uptake, accumulation and release. In: Mallins and Ostrander (ed). *Aquatic Toxicology*, Lewis Publishers. P. 539.
- Romeo, M. y Gnassia-Barelli, M. (1988). *Donax trunculus* and *Venus verrucosa* as bioindicators of trace metals concentrations in Mauritanian coastal waters, *Mar. Biol.* (99): 223-227.

Sañudo-Wilhelmy, S.A. y A.R. Flegal (1991). Trace elements distributions in coastal waters along the US-Mexican boundary: relative contributions of natural processes vs. anthropogenic inputs. *Marine Chemistry*. (33): 371-392.

Sañudo-Wilhelmy, S.A. y Flegal, A.R. (1992). Anthropogenic silver in the Southern California Bight: A new tracer of sewage in coastal waters. *Environ. Sci. Technol.* 26(11): 2147-2151.

Sañudo-Wilhelmy, S.A. y Flegal, A.R. (1994). Temporal variations in lead concentrations and isotopic compositions in the Southern California Bight. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 58 (15): 3315-3320.

Sañudo-Wilhelmy, S.A. and A.R. Flegal (1996). Trace metal concentrations in the surf zone in coastal waters off Baja California. *Environ. Sci. Technol.* 30 (5): 1575-1580.

SCCWRP (1986). Characteristics of municipal wastewater. In: Southern California Coastal Water Research Project. Annual Report, 1986. Long Beach, California 1-5.

SCCWRP (1987). Coastal Water Research Project: Annual Report, 1987. Southern California Coastal Water Research Project. El segundo, California. 101.

SCCWRP (1989a). Recent changes and long term trends in the combined mass emission discharged into the Southern California Bight. In: Southern California Coastal Water Research Project. Annual Report, 1988. Long Beach, California. 20-28.

SCCWRP (1989b). Marine outfall: 1987 inputs from wastewater treatment plants, power plants and industrial facilities. In: Southern California Coastal Water Research Project. Annual Report, 1988. Long Beach, California. 30-37.

SCCWRP (1992). Characteristics of effluents from large municipal wastewater treatment facilities in 1990 and 1991. In: Southern California Coastal Water Research Project. Annual Report, 1990-91 and 1991-92. Long Beach, California. 8-18.

SCCWRP (1994). Characteristics of effluents from large municipal wastewater treatment facilities in 1992 . In: Southern California Coastal Water Research Project. Annual Report, 1992-93. Long Beach, California. 10-19.

Schafer, H.A. (1980). Characteristics of municipal wastewater. In: Southern California Coastal Water Research Project , Biennial Report, 1979-1980, pp.57-60. Long Beach, California. 235-240.

Schafer, H.A. (1982). Characteristics of municipal wastewater. In: Southern California Coastal Water Research Project , Biennial Report, 1981-1982, pp.57-60. Long Beach, California. 11-16.

Schafer, H.A. (1984). Characteristics of municipal wastewater. In: Southern California Coastal Water Research Project , Biennial Report, 1983-1984, pp.57-60. Long Beach, California. 11-20.

Segovia-Zavala, J.A., Delgadillo-Hinojosa, F. y Alvarez-Borrego, S. (1998). Cadmium in the coastal upwelling area adjacent to the California-Mexico border. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. (46): 475-481.

Simkiss, K., Mason, A.Z. (1983). Metals ions: metabolic and toxic effect. In: Hochach (ed). *The Mollusca*, Vol. 2. Academic Press, 362.

Stephenson, M.D., Martin, M., Lange, S.E., Flegal, A.R., Martin, J.H. (1979). Trace metal concentrations in the California mussel *Mytilus californianus*. Water Quality Monitoring Report. III (70-22): 102 .

Stephenson, M.D. y Leonard, G.H. (1994). Evidence for the decline of silver and lead and the increase of copper from 1977 to 1990 in the coastal marine waters of California. Marine Pollution Bulletin. 28 (3): 148-153.

Taylor, B.N. y Kuyatt, C.E. (1994). "Guidelines for Evaluating and Expressing Uncertainty of NIST Measurement Results", NIST Technical Note 1297, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Usero, J., González-Regalado, E., Gracia Ignacio (1996). Trace metals in the bivalve mollusc *Chamelea gallina* from the atlantic coast of southern Spain. Mar. Pollut. Bull. 32 (3): 305-310.

Villaescusa-Celaya, J.A., Gutiérrez-Galindo, E.A. y Flores-Muñoz, G. (1997). Metales pesados en fracciones geoquímicas de sedimentos de la región fronteriza de Baja California, México, y California, EUA. Ciencias Marinas. 23 (1): 43-70.

Villaescusa-Celaya, J.A., Gutiérrez-Galindo, E.A. y Flores-Muñoz, G. (2000). Heavy metals in the fine fraction ($<\mu\text{m}$) of coastal sediments from Baja California (Mexico) and California (USA). *Environmental Pollution*. (108): 453-462.

WHO (1976). *Environmental Health Criteria I. Mercury* World Health Organization. Geneva.

