

*Quinta*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

CONCENTRACION BIOLÓGICA DE HIDROCARBUROS CLORADOS  
EN LA COSTA OESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA  
DURANTE 1987 Y 1988



TESIS  
QUE PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE  
**OCEANOLOGO**  
PRESENTA

MARIA DE LOURDES ORTEGA GARCIA

ENSENADA, B.C.

OCTUBRE DE 1991

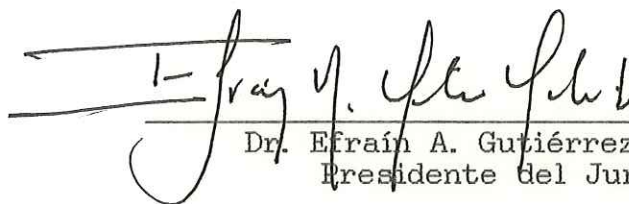
## RESUMEN

En 1987 y 1988, se realizó un programa de vigilancia mediante el uso del mejillón *Modiolus capax* como bioindicador para establecer los niveles de la contaminación por insecticidas en la costa oeste del Golfo de California a lo largo de la península de la Baja California. Los resultados obtenidos en el mejillón, reflejan que el p,p'DDE (intervalo de concentraciones 5.30-105.3 ng g<sup>-1</sup> peso seco) es el insecticida organoclorado mayormente biodisponible y distribuido en las aguas del Golfo de California. Las localidades de Bahía de Los Angeles, San Rafael y San Francisquito ubicadas en la región central del golfo se destacan como las áreas que presentan los mayores niveles de este metabolito del DDT. Geográficamente, el p,p'DDE mostró un comportamiento similar durante 1987 y 1988. En cuanto al patrón temporal de la contaminación por pesticidas, los resultados no presentan una tendencia definida. Otros insecticidas en los mejillones indican que el heptacloro epóxico fue detectado en el 18 % y el endrín en el 8 % del total de las muestras colectadas. El dieldrín, el cis-clordano, el dactal y el endosulfan I fueron medidos en menos del 5 % de las muestras examinadas. Se discute que las mayores concentraciones obtenidas en la región central del golfo pueden tener su origen en los valles agrícolas de Sonora y Sinaloa. Las concentraciones de los insecticidas detectados en *M. capax* durante los dos años de muestreo, estuvieron por debajo de los límites internacionales establecidos para la protección de la biota acuática.

CONCENTRACION BIOLOGICA DE HIDROCARBUROS CLORADOS EN LA  
COSTA OESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA DURANTE 1987 Y 1988


TESIS  
QUE PRESENTA  
MARIA DE LOURDES ORTEGA GARCIA

Aprobada por:



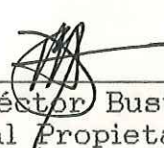
---

Dr. Efraín A. Gutiérrez Galindo  
Presidente del Jurado




---

M.C. Armando Rodríguez Pinal  
Sinodal Propietario



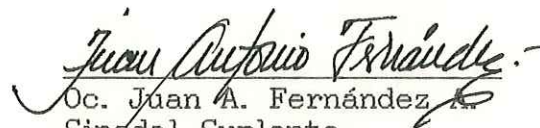
---

M.C. Héctor Bustos Serrano  
Sinodal Propietario



---

Oc. Julio A. Villaescusa C.  
Sinodal Suplente



---

Oc. Juan A. Fernández  
Sinodal Suplente

## DEDICATORIAS

A mis Padres:

María de la Luz y Enrique Jesús

Por todo lo que me han dado

A mis Hermanos:

Enrique Jesús, José Antonio, Rita, Oscar y Teresa

Por su cariño y apoyo

A mis Amigos:

Delia Luz Ríos Marín y Juan Benítez Castañeda

Por su invaluable amistad

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se llevó a cabo en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California gracias a las facilidades proporcionadas para el uso de sus instalaciones y equipo de laboratorio.

A la Secretaría de Educación Pública por el apoyo económico recibido a través de la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica, para la realización de esta investigación (Convenio C88-01-0077, No. de Registro DGICSA 880532).

Al Dr. Efraín A. Gutiérrez Galindo, al Profr. Gilberto Flores Muñoz y al Oc. Julio A. Villaescusa Celaya por su paciencia, empeño y orientación en la realización de esta tesis, pero sobre todo por su amistad y comprensión.

A los sinodales M.C. Armando Rodríguez Pinal, M.C. Héctor Bustos Serrano y Oc. Juan. A. Fernández Apango por sus comentarios y aportaciones en la revisión de este trabajo.

A mis compañeros de generación y de proyecto, por su amistad. A mi amigo Arturo Santiago por su apoyo y motivaciones. A mis amigos y compañeros de trabajo Sra. Rosario Cervantes, Rey Reyes y al Tte. Emilio Carrillo, por su gran disposición. A la Familia Vargas Villarreal, por su amistad durante estos años de convivencia y por todas sus atenciones. Y a todas las personas que de una u otra manera participaron en la realización de esta tesis.

## I N D I C E

I.-	INTRODUCCION	1
	I.1. Antecedentes	1
	I.2. Objetivos	7
II.-	MATERIALES Y METODOS	9
	II.1. Localización del área de estudio	9
	II.2. Metodología para la extracción de compuestos organoclorados	9
III.-	RESULTADOS	16
IV.-	DISCUSION	30
V.-	CONCLUSIONES	37
VI.-	LITERATURA CITADA	39

## LISTA DE TABLAS

Tabla I.-	Compuestos orgánicos sintéticos analizados y su límite de detección aproximado para las muestras colectadas en 1987.	12
Tabla II.-	Compuestos orgánicos sintéticos analizados, fracción en la que son recuperados y su límite de detección aproximado para las muestras colectadas en 1988.	13
Tabla III.-	Niveles de insecticidas organoclorados ( $\text{ng g}^{-1}$ peso seco) medidos en el mejillón <i>M. capax</i> del Golfo de California durante 1987.	17
Tabla IV.-	Niveles de insecticidas organoclorados ( $\text{ng g}^{-1}$ peso seco) medidos en el mejillón <i>M. capax</i> del Golfo de California durante 1988.	18
Tabla V.-	Razón del metabolito $\text{p,p'DDE}/\Sigma\text{DDT}$ expresado en porcentaje y calculada para las colectas de abril de 1987(1), septiembre de 1987(2), mayo de 1988(3) y octubre-noviembre de 1988(4).	21
Tabla VI.-	Características biométricas del mejillón <i>M. capax</i> colectado en el Golfo de California durante 1987.	28

Tabla VII.- Características biométricas del mejillón *M. capax* colectado en el Golfo de California durante 1988.

29

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.-	Area de estudio y localidades de muestreo de <i>M. capax</i> en el Golfo de California.	10
Figura 2.-	Distribución geográfica de los promedios anuales de p,p'DDE medido en el mejillón <i>M. capax</i> del Golfo de California.	23
Figura 3.-	Distribución geográfica de los promedios anuales de $\Sigma$ DDT medido en el mejillón <i>M. capax</i> del Golfo de California.	24
Figura 4.-	Distribución geográfica y temporal de: A) p,p'DDE y B) $\Sigma$ DDT en <i>M. capax</i> del Golfo de California.	25
Figura 5.-	Porcentaje de ocurrencia de insecticidas (no-DDT) medidos en <i>M. capax</i> del Golfo de California.	27

## I.- INTRODUCCION

### I.1. Antecedentes.

En los últimos 40 años la producción y uso de pesticidas en las actividades agrícolas han incrementado significativamente su concentración en los diferentes compartimientos ambientales (aire, agua, suelo y biota).

En particular, la contaminación del ambiente marino por estos compuestos sintéticos ha recibido una especial atención a nivel mundial y las investigaciones se han enfocado principalmente a la zona costera y estuarios, debido a que reciben un mayor impacto de estos compuestos químicos (Sericano *et al.*, 1990). Sus grandes razones de uso, su persistencia ambiental y el hecho de bioconcentrarse en las cadenas alimenticias acuáticas han generado el interés por su estudio, ya que arriesgan la salud de los consumidores de los niveles tróficos superiores (Tanabe *et al.*, 1989).

Estos tóxicos presentan una gran persistencia ambiental atribuída a su naturaleza hidrofóbica por lo que exhiben afinidad por lípidos y partículas además de ser resistentes a la biodegradación (Tanabe *et al.*, 1989), siendo los animales (Boon *et*

*al.*, 1989) y el material particulado de los sedimentos (Olsen *et al.*, 1982) "compartimientos ambientales" adecuados para el establecimiento de contaminación por compuestos hidrofóbicos.

Estos compuestos presentan poca actividad química, altos coeficientes de partición lípido-agua y son volátiles a temperaturas ambientales (Addison, 1976). En particular, el DDT es el insecticida organoclorado que ha recibido mayor atención por sus efectos adversos a la salud humana (Restrepo, 1988) y debido a su persistencia, es más dañino al ambiente por su capacidad de bioacumularse y biomagnificarse en la cadena alimenticia (Woodwell, 1970; Pimentel y Edwards, 1982). Se ha observado su lenta degradación ya que después de un año, el suelo retiene del 60% al 90% de la cantidad aplicada originalmente, en forma de DDT o en metabolitos más tóxicos como el DDE o el DDD (Waldron y Ricklefs, 1973).

El transporte atmosférico de estos compuestos de áreas urbanas e industrializadas a zonas no pobladas es reconocido como el modo primario de su distribución mundial (Ghirelli *et al.*, 1984; Tanabe *et al.*, 1989). Como fuente importante de estos tóxicos a la atmósfera se considera la volatilización que sufren durante los procesos de fabricación y uso o a la exposición de desagües conteniendo los químicos (Spencer *et al.*, 1982). Algunos hidrocarburos

clorados se han detectado en regiones alejadas como la Antártica atribuidos al transporte de los tóxicos que se han producido en Japón (Phillips y Tanabe, 1989).

La incorporación de estos compuestos orgánicos sintéticos a los ecosistemas acuáticos ocurre mediante la depositación seca y húmeda desde la atmósfera, la cual es considerada como la principal ruta de ingreso de compuestos organoclorados (Larson, 1985). Los mecanismos de movilización de estos tóxicos desde los continentes ocurre por su transporte en la fase particulada (Fowler, 1990), por las descargas de ríos, de desechos de escurrimientos, por procesos eólicos (Olsen *et al.*, 1982) y por el intercambio de estos compuestos en la interfase aire/agua (Tanabe *et al.*, 1983). Se ha señalado, que las pérdidas por la volatización de pesticidas de zonas agrícolas son más grandes que por los escurrimientos y tal vez contribuyen en cantidades mayores al ambiente acuático (Pionke y Chesters, 1973).

Los insecticidas han sido usados ampliamente desde 1948 para proteger los cultivos agrícolas y para controlar diversas plagas domésticas. Entre los daños a corto plazo que ha ocasionado el uso intensivo de los plaguicidas están la desaparición de insectos benéficos y la mortandad de distintas especies animales (aves, peces, ganado, etc.). Entre los daños a largo plazo están la

contaminación de aguas continentales y costeras con la consiguiente disminución en la productividad de estas zonas, la acumulación de los plaguicidas en las cadenas tróficas y el desarrollo de resistencia en los organismos plaga tales como insectos, hongos o roedores. La especial gravedad de los daños ambientales radica en el largo plazo que requieren para mostrarse y en la complejidad y alto costo de remedios (Albert *et al.*, 1985).

El empleo de plaguicidas en la agricultura mexicana data de fines del siglo pasado, pero es a partir de la década de 1940 cuando se inician la producción y uso de insecticidas inorgánicos. En 1959 principia la fabricación de agroquímicos sintéticos como DDT y HCB. La información disponible señala que México produce DDT y endrín (Restrepo, 1988), compuestos que por su toxicidad ambiental han sido prohibidos o fuertemente restringidos en muchos países (UNS, 1984).

En México, los asentamientos humanos de las entidades federativas aledañas al Golfo de California, se han formado y desarrollado en valles y zonas montañosas donde las principales actividades económicas son la agricultura, ganadería, pesca, turismo, industria y minería. En esta región, la agricultura se distingue por ser una de las más tecnificadas del país. De acuerdo con la información que existe, los principales contaminantes de origen

ambiental en los alimentos en México son los plaguicidas organoclorados y sus derivados. El predominio de estos compuestos se puede explicar como resultado del amplio uso en la agricultura que se les dió en el pasado a estas sustancias en el país y al que aún se les da. Así, en 1986 se tenía un registro de fabricación y/o de uso en el país los siguientes productos organoclorados: DDT (aproximadamente 4000 ton/año); BHC (aproximadamente 2000 ton/año); toxafeno (aproximadamente 2000 ton/año); endrín (aproximadamente 400 ton/año); además, cantidades menores de heptacloro, clordano y endosulfan. Hasta 1986 se usaban también aldrín y dieldrín. En segundo lugar, se podría colocar a los plaguicidas organofosforados; la presencia de éstos en los alimentos se debe, sobre todo, a las deficientes prácticas agrícolas comunes en México (Mena y Loera, 1986).

El interés de examinar la contaminación costera por hidrocarburos clorados en el Golfo de California radica en la importancia pesquera y que para el desarrollo de la acuicultura representa esta zona. Se ha señalado que es un área con altas tasas de productividad primaria comparada con la región de Bengala o con zonas de surgencia de la Costa Occidental de Baja California o del Norte de Africa (Zeitzchel, 1969). Presenta además características oceanográficas como son la fuerza de las mareas, los vientos, calentamiento, las interacciones con su batimetría y

con el Océano Pacífico las cuales generan una circulación vigorosa y compleja (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991) que aunadas a la vecindad de sus aguas con regiones agrícolas altamente tecnificadas localizadas en Baja California, Sonora y Sinaloa y a las propiedades de los tóxicos podrían influir en su presencia y distribución en el área de estudio.

Existen antecedentes recientes de la contaminación ambiental por plaguicidas en Baja California (en particular el valle de Mexicali) que muestran la presencia de insecticidas (en particular el DDT) en organismos filtroalimentadores (almejas y mejillones) y en peces (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1988a,b).

En 1987 y 1988 se realizó un programa de vigilancia de la contaminación por pesticidas en la costa oeste del Golfo de California. Para este propósito se utilizó al mejillón *M. capax* como indicador biológico de la contaminación por estos compuestos orgánicos sintéticos. Los organismos bivalvos han demostrado a través de numerosas investigaciones su valiosa utilidad como organismos centinelas de la contaminación por diversos elementos y compuestos orgánicos tóxicos. (Goldberg *et al.*, 1978; Phillips, 1980; Farrington, 1983; Martin, 1985). Son organismos sedentarios que forman poblaciones numerosas, pueden ser transplantados y son relativamente resistentes a la contaminación, son

filtroalimentadores y tienen la capacidad de concentrar los contaminantes a niveles detectables, además se utilizan para consumo humano por lo que son una fuente potencial de contaminantes (Farrington, 1983; Cossa, 1989). Este concepto conocido como "Mussel Watch" ha sido extensamente desarrollado en diferentes partes del mundo a través de programas de vigilancia de la calidad ambiental de las aguas marinas. Los mejillones *M. capax* seleccionados como bioindicadores en esta investigación, habitan en la zona rocosa intermareal y sublitoral hasta los 45 m de profundidad y su distribución se extiende desde California (E.U.A.) hasta Perú, incluyendo el Golfo de California y las Islas Galápagos. Presentan un amplio intervalo de tamaños y capacidad de formar densas agrupaciones. Presentan además, un valor de explotación comercial para el consumo humano (Bückle y Farfán, 1987).

## **I.2. Objetivos.**

Este estudio es una investigación de carácter regional orientada a evaluar la contaminación por pesticidas en localidades de la costa oeste del Golfo de California, con los siguientes objetivos: Identificar regionalmente los centros de alta concentración de los compuestos orgánicos sintéticos; establecer su distribución geográfica y temporal; determinar si las concentraciones de

pesticidas en *M. capax* se encuentran dentro del límite establecido que no presenta riesgos para el consumo humano ni para el ambiente y generar información sistemática que sirva de referencia para evaluar la contaminación costera por compuestos orgánicos sintéticos en el Golfo de California.

## II.- MATERIALES Y METODOS

### II.1. Localización del área de estudio.

El área de estudio se localiza al este de la península de Baja California a lo largo de la franja costera del Golfo de California, entre los paralelos de  $30^{\circ} 51'$  y  $24^{\circ} 00'$  N y los meridianos  $110^{\circ} 17'$  y  $114^{\circ} 57'$  W (Fig. 1).

### II.2. Metodología para la extracción de compuestos organoclorados.

Se colectaron mejillones *M. capax* a lo largo de la península de Baja California durante 1987, en seis localidades en abril y ocho localidades en septiembre. Durante 1988, 12 localidades se muestrearon en mayo y 14 localidades en octubre-noviembre (Fig. 1). Se colectaron 50 organismos en cada sitio, se almacenaron en bolsas de papel aluminio y se conservaron a  $-20^{\circ}$  C hasta su posterior análisis en el laboratorio. Las muestras se descongelaron y se enjuagaron con agua destilada, el bisco fue excluido. Se hicieron tres réplicas de 15 organismos cada una por localidad y se registraron las características biométricas (talla, peso del tejido) de los organismos. Posteriormente, las muestras fueron homogenizadas y colocadas en frascos de cristal previamente lavados

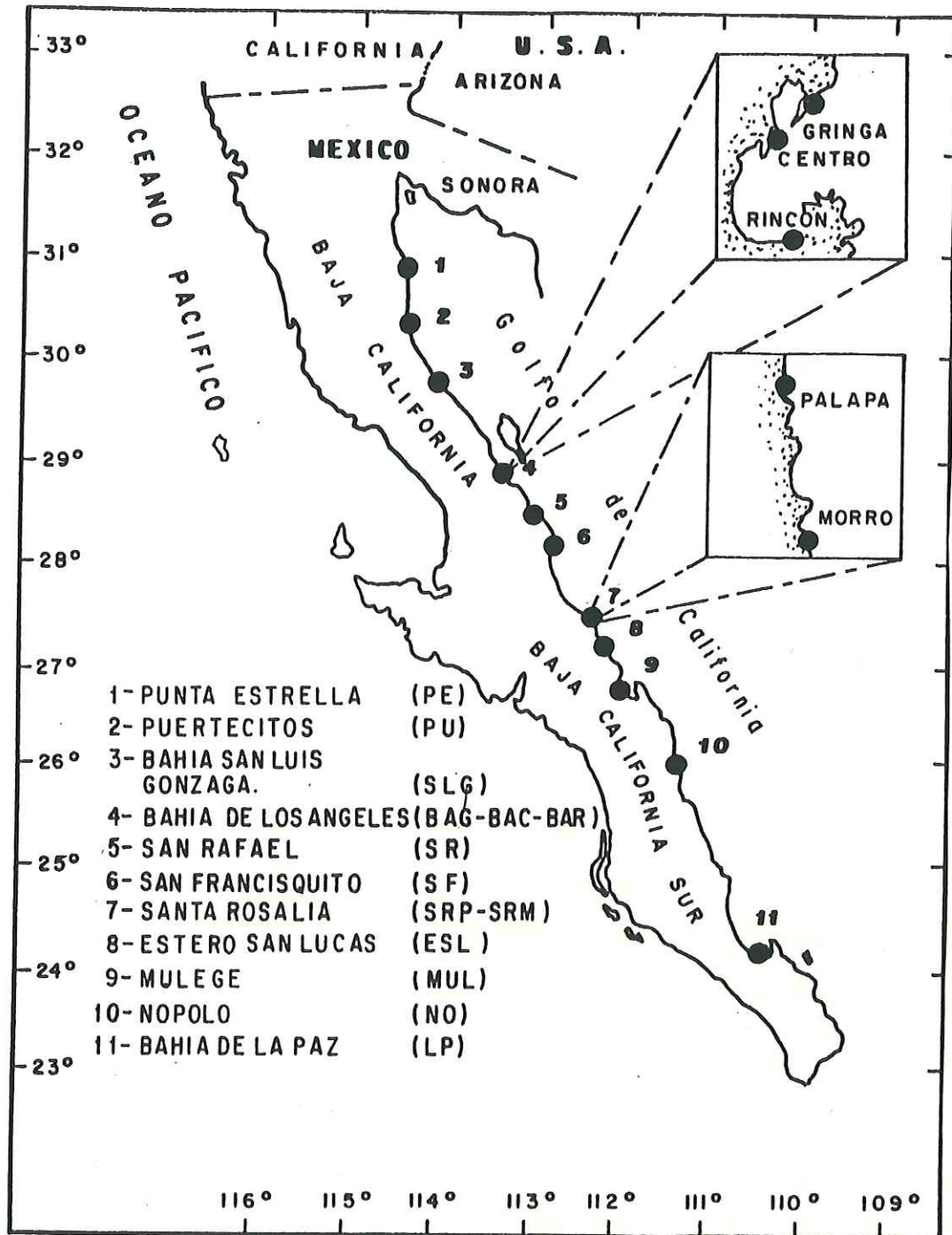


Figura 1- Area de estudio y localidades de muestreo de *M. capax* en el Golfo de California.

con mezcla crómica, enjuagados con agua destilada y descontaminados con acetona y hexano (grado pesticida), cubriéndolas con papel aluminio hasta su posterior análisis químico.

Los organismos colectados durante 1987 se analizaron siguiendo la metodología de extracción de compuestos orgánicos sintéticos (Tabla I) descrita por Young *et al.* (1976), consistente en tomar 5 g de la muestra homogenizada, que se extraen con acetonitrilo/hexano, seguido por una elución con 45 ml. de éter etílico en hexano al 6% (v/v) a través de una columna empacada con florisil.

Los organismos colectados en 1988 se analizaron siguiendo la metodología descrita por Martin (1980). En este procedimiento analítico se trataron 25 g de muestra homogenizada, sometiéndolos a una extracción de compuestos con acetonitrilo/éter de petróleo, seguido por la elución a través de una columna empacada con florisil. Las columnas se eluyeron con 100 ml. de éter de petróleo al 100%, 100 ml. de éter etílico-éter de petróleo al 6%, 100 ml. de éter etílico-éter de petróleo al 15% y 100 ml. de éter etílico-éter de petróleo al 50%. Esta metodología permitió la extracción de un mayor número de compuestos orgánicos sintéticos (Tabla II). Para la comparación de resultados de las dos metodologías analíticas empleadas en este estudio, se realizó un ejercicio de intercalibración

Tabla I. Compuestos orgánicos sintéticos analizados y su límite de detección aproximado para las muestras colectadas en 1987 .

COMPUESTO	LIMITE DE DETECCION (ng g <sup>-1</sup> peso húmedo)
Hexaclorobenceno (HCB)	0.3
HCH, gama (Lindano)	0.3
Heptacloro	0.5
Aldrín	0.5
Heptacloro epóxido	0.5
Cis-clordano	0.5
Trans-nonacloro	0.5
Dieldrín	0.5
Mirex	3.0
DDE, o,p'	3.0
DDE, p,p'	0.5
DDD, o,p'	3.0
DDD, p,p'	3.0
DDT, o,p'	1.0
DDT, p,p'	1.0

Tabla II. Compuestos orgánicos sintéticos analizados, fracción en la que son recuperados y su límite de detección aproximado para las muestras colectadas en 1988.

COMPUESTO	LIMITE DE DETECCION (ng g <sup>-1</sup> peso húmedo)	COMPUESTO	LIMITE DE DETECCION (ng g <sup>-1</sup> peso húmedo)
Aldrín (1)	1.0	Endrín (3)	3.0
Cis-clordano (1+2)	1.0	HCH, alfa (1+2)	0.5
Trans-clordano (2)	1.0	HCH, beta (2)	2.0
Clordano, alfa (1)	1.0	HCH, gama (2)	0.5
Clordano, gama (1)	1.0	HCH, delta (2)	1.0
Cloropirifos (2)	2.0	Heptacloro (2)	1.0
Dactal (3)	1.0	Heptacloro epóxico (2)	1.0
DDD, o,p' (2)	5.0	HCB (1)	0.5
DDD, p,p' (2)	5.0	Metoxicloro (2)	3.0
DDE, o,p' (1)	5.0	Cis-nonacloro (1)	1.0
DDE, p,p' (1+2)	1.0	Trans-nonacloro (1)	1.0
DDMU, p,p' (1)	3.0	Oxiclordano (2)	1.0
DDT, o,p' (1)	2.0	Paratión, etil (3)	2.0
DDT, p,p' (1+2)	2.0	Paratión, metil (3)	2.0
Diazinón (3)	5.0	BPC (Aroclor 1248) (1)	10
Dieldrín (3)	1.0	BPC (Aroclor 1254) (1)	10
Endosulfan I (3)	1.0	BPC (Aroclor 1260) (1)	10
Endosulfan II (3+4)	15	Tetradifón (Tedión) (1)	2.0
Endosulfan SO <sub>4</sub> (4)	20	Toxafeno (2)	20

(1) Fracción 0 % eter etílico

(2) Fracción 6 % eter etílico

(3) Fracción 15 % eter etílico

(4) Fracción 50 % eter etílico

entre el laboratorio del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC y el laboratorio de Control de la Polución del Agua del Departamento de Caza y Pesca de California, EUA (Martin *et al.*, 1990). El resultado obtenido entre los dos laboratorios, muestra que el p,p'DDE es virtualmente idéntico.

Los hidrocarburos clorados de los extractos obtenidos en los muestreos de abril, septiembre de 1987 y mayo de 1988, se determinaron inyectando 1  $\mu$ l de la muestra en un cromatógrafo de gases Varian 3700 equipado con un automuestreador Modelo 8000 y dos detectores de captura de electrones. Se utilizaron dos columnas capilares, para confirmación de resultados, una DB-5 (no polar) y otra DB-17 (polaridad intermedia) de sílice de 30 m de longitud con 0.25 mm de diámetro interno. Las muestras se corrieron simultáneamente utilizando un solo inyector bajo las siguientes condiciones:

	DB-5	DB-17
TEMPERATURA INYECTOR	200° C	200° C
TEMPERATURA DETECTOR ( $^{63}\text{Ni}$ )	320° C	320° C

Temperatura Inicial: 150° C por 1 min.

Razón 1 del Programa: 5° C/min hasta 200° C

Razón 2 del Programa: 2° C/min hasta 240° C

Razón 3 del Programa: 10° C/min hasta 250° C

El gas transportador fue N<sub>2</sub> con una velocidad lineal de 16 cm/s. Los datos cromatográficos para la columna DB-5 fueron reducidos utilizando un programa Perkin-Elmer 7700.

Los compuestos orgánicos sintéticos de los extractos obtenidos del muestreo de octubre-noviembre de 1988 se determinaron inyectando 2.0 µl mediante un automuestreador HP 7673A instalado en un cromatógrafo de gases HP 5890A. Se instalaron dos columnas capilares J & W Scientific (DB-5 y DB-17) de 0.25 mm de diámetro interno y 30 m de longitud. Cada columna se conectó a un detector de captura de electrones de <sup>63</sup>Ni. La temperatura del inyector fue de 250° C y la temperatura del detector fue de 350° C. Las muestras se corrieron bajo las siguientes condiciones:

Temperatura Inicial: 50° C/min por 1 min.

Razón 1 del Programa: 15° C/min hasta 150° C.

Razón 2 del Programa: 3.5° C/min hasta 280° C, por 15 min.

Tiempo total de corrida: aproximadamente 60 min.

El gas transportador fue He a 32 cm/s con temperatura del horno de 280° C.

Se determinó el contenido de lípidos por el método descrito por Bligh y Dyer (1959), utilizando 10 g de tejido homogenizado. La humedad se determinó por evaporación de 1 g de muestra homogenizada después de 72 h a 70° C.

### III.-RESULTADOS

Los niveles de hidrocarburos clorados medidos en el mejillón *M. capax* del Golfo de California durante las colectas de 1987 y 1988 se muestran en la Tablas III y IV respectivamente. Los resultados se reportan en base seca.

De los diversos compuestos analizados (Tabla I) en las colectas de abril y septiembre de 1987, solo fueron detectados el p,p'DDE, el heptacloro epóxico y el o,p'DDD. En abril el p,p'DDE se encontró en todas las localidades estudiadas con un intervalo de concentraciones de 5.78 a 42.85 ng g<sup>-1</sup>, el heptacloro epóxico en San Luis Gonzaga, Bahía de los Angeles y San Francisquito (3.25 a 13.5 ng g<sup>-1</sup>) y el o,p'DDD solo fue detectado en Bahía de San Luis Gonzaga (52.5 ng g<sup>-1</sup>) y Bahía de los Angeles (24.5 ng g<sup>-1</sup>). Durante la colecta de septiembre, el p,p'DDE fue detectado en la mayoría de las localidades muestreadas (4.26 a 46.94 ng g<sup>-1</sup>) excepto en Puertecitos y Bahía de San Luis Gonzaga. El heptacloro epóxico fue encontrado en Bahía de los Angeles (15.6 ng g<sup>-1</sup>) y San Francisquito (5.34 ng g<sup>-1</sup>) y el o,p'DDD unicamente en Bahía de los Angeles (144.82 ng g<sup>-1</sup>) (Tabla III).

Durante abril la razón máximo/mínimo (max/min) de  $\sum DDT$  fue de 10.82, la mayor concentración medida fue de 62.58 ng g<sup>-1</sup> en Bahía de San Luis Gonzaga. Durante la colecta de septiembre, los niveles

Tabla III. Niveles de insecticidas organoclorados (ng g<sup>-1</sup> peso seco) medidos en el mejillón *M. capax* del Golfo de California durante 1987.

ESTACION	heptacloro epóxico	Abril		
		p,p'-DDE	o,p'-DDD	ΣDDT
PE		15.7		15.7
PU		14.4		14.4
SLG	13.5	10.08	52.5	62.58
BAC	3.25	10.00	24.5	34.5
SF	7.83	42.85		42.85
ESL		5.78		5.78
Septiembre				
PE		28.37		28.37
PU		< 2.60		< 2.6
SLG		< 2.60		< 2.6
BAC	15.6	7.24	144.82	152.06
BAR		4.50		4.50
SF	5.34	46.94		46.94
SRP		4.26		4.26
ESL		5.11		5.11

Tabla IV. Niveles de Insecticidas organoclorados (ng g<sup>-1</sup> peso seco) medidos en el mejillón *M. capax* del Golfo de California durante 1988.

ESTACION	Mayo								
	Dactal	Endrín	Dieldrín	Endo-sulfan I	p,p'-DDE	o,p'-DDD	p,p'-DDD	p,p'-DDT	ΣDDT
PE					18.9		14.00		32.90
PU					8.40				8.40
SLG	4.76				9.44				9.44
BAG		5.65			6.94				6.94
BAC				7.60	9.53			17.13	26.66
BAR		4.93			5.30				5.30
SF		6.61	3.33		105.30		19.71	16.15	141.16
SRP					6.13				6.13
SRM					9.96	14.43		11.83	36.22
ESL					11.41				11.41
MUL					9.64				9.64
LP					13.33		24.15	16.72	54.20

ESTACION	Octubre-Noviembre				
	Heptacloro epóxico	Cis-clordano	p,p'DDE	p,p'DDD	ΣDDT
PE			11.84		11.84
PU			< 6.38		< 6.38
SLG	4.49		11.04		11.04
BAG		15.73	10.94		10.94
BAC	5.78		15.58		15.58
BAR			9.99		9.99
SR			23.97		23.97
SF			17.78		17.78
SRP			12.07		12.07
SRM			8.21		8.21
ESL			11.82		11.82
MUL			7.24		7.24
NO			< 6.38		< 6.38
LP			< 6.38	9.95	9.95

de  $\sum DDT$  medidos fueron muy similares al de abril. Sin embargo, la razón max/min fue de 35.64, la concentración mayor fue de 152.06  $ng\ g^{-1}$  en Bahía de los Angeles aledaña a la Bahía de San Luis Gonzaga.

Para las colectas de 1988, se amplió el número de estaciones estudiadas, así como el de compuestos analizados (Tabla II). Durante la colecta de mayo, se detectó el p,p'DDE en todas las localidades muestreadas con un intervalo de concentraciones de 5.30 a 105.3  $ng\ g^{-1}$ , el p,p'DDT fue medido en Bahía de los Angeles, San Francisquito, Santa Rosalía y la Paz (11.83 a 17.13  $ng\ g^{-1}$ ), el p,p'DDD se midió en Punta Estrella, San Francisquito y la Paz (14.00 a 24.15  $ng\ g^{-1}$ ), mientras que el o,p'DDD únicamente se detectó en Santa Rosalía (14.43  $ng\ g^{-1}$ ). Otros insecticidas encontrados fueron el endrín en dos localidades de Bahía de los Angeles y en San Francisquito (4.93 a 6.61  $ng\ g^{-1}$ ), el dactal en San Luis Gonzaga (4.76  $ng\ g^{-1}$ ), el dieldrín en San Francisquito (3.33  $ng\ g^{-1}$ ) y el endosulfan I en Bahía de los Angeles, (7.60  $ng\ g^{-1}$ ). Durante la colecta de octubre-noviembre, se detectó el p,p'DDE en la mayoría de las localidades, con un intervalo de concentraciones de (<6.38 a 23.97  $ng\ g^{-1}$ ), el p,p'DDD se midió en La Paz (9.95  $ng\ g^{-1}$ ), el cis-clordano I en Bahía de los Angeles (15.73  $ng\ g^{-1}$ ) y el heptacloro epóxico en la Bahía de San Luis Gonzaga y Bahía de los Angeles (4.49 y 5.78  $ng\ g^{-1}$ ) (Tabla IV).

En mayo de 1988, el  $\sum DDT$  presentó un intervalo de variación muy amplio, con una razón max/min de 26.63. El valor máximo medido de  $\sum DDT$  ( $141.16 \text{ ng g}^{-1}$ ) fue encontrado en San Francisquito, localidad ubicada en la región central del golfo. Para la colecta de octubre-noviembre de 1988, los niveles de  $\sum DDT$  fueron menores y menos variables a los obtenidos en mayo con una razón max/min de 3.31. El nivel máximo detectado ( $23.97 \text{ ng g}^{-1}$ ) correspondió a la localidad de San Rafael, ubicada en la región central del golfo.

Los resultados muestran que en 1987 y en 1988 el p,p'DDE fue el insecticida más comunmente encontrado en las aguas del Golfo de California, detectándose en la mayoría de las localidades examinadas, excepto en Puertecitos al norte del Golfo, en Nopolo y en Bahía de la Paz en el extremo sur de la península.

En la Tabla V, se muestra la razón  $p,p'DDE/\sum DDT$  calculada para las colectas de 1987 y 1988. Los resultados indican que el DDT, en esta región del Golfo de California, se encuentra principalmente en forma de p,p'DDE. La distribución del metabolito presentó variaciones importantes, como valores de 4.8% para la razón  $p,p'DDE/\sum DDT$  en Bahía de los Angeles durante septiembre de 1987 y de 100% en todas las localidades de colecta durante octubre-noviembre de 1988.

Tabla V. Razón del metabolito p,p'-DDE/ $\Sigma$ DDT expresado en porcentaje y calculada para las colectas de abril de 1987(1), septiembre de 1987(2), mayo de 1988(3) y octubre-noviembre de 1988(4).

ESTACION	p,p'-DDE/ $\Sigma$ DDT(1)	p,p'-DDE/ $\Sigma$ DDT(2)	p,p'-DDE/ $\Sigma$ DDT(3)	p,p'-DDE/ $\Sigma$ DDT(4)
PE	100	100	57.4	100
PU	100	nd	100	nd
SLG	16.1	nd	100	100
BAG	na	na	100	100
BAC	29.0	4.8	100	100
BAR	na	100	100	100
SR	na	na	na	100
SF	100	100	74.6	100
SRP	na	100	100	100
SRM	na	na	27.5	100
ESL	100	100	100	100
MUL	na	na	100	100
NO	na	na	na	nd
LP	na	na	24.6	nd

na = no analizado

nd = no detectado

Geográficamente, el p,p'DDE mostró un comportamiento muy similar durante 1987 y 1988, con promedios anuales disminuyendo de la región norte hacia el centro de la península y con niveles relativamente elevados y variables en la región central del golfo y bajos en la región sur (Fig. 2). El  $\sum DDT$  presentó una distribución geográfica más variable que el p,p'DDE, debido principalmente a los niveles elevados de o,p'DDD medidos en la parte central de la península en 1987 (Tabla III). En 1988, la presencia de otros metabolitos de DDT no afectaron significativamente la distribución de  $\sum DDT$  respecto al p,p'DDE y ambos tóxicos presentaron básicamente el mismo comportamiento geográfico (Fig. 3).

La figura 4, muestra el promedio regional ( $\pm$  un intervalo de confianza  $\alpha=0.05$ ) del p,p'DDE y del  $\sum DDT$  para las cuatro colectas. Es importante destacar que la media no incluye localidades en donde la concentración fue menor al límite de detección. En general, el p,p'DDE presenta una distribución geográfica con valores bajos a lo largo del Golfo de California, excepto en la región central del golfo. En la localidad de San Francisquito tres de los cuatro muestreos efectuados presentaron niveles de p,p'DDE superiores al intervalo de confianza. Similarmente, la concentración medida de p,p'DDE en Punta Estrella y San Rafael, fue superior al intervalo de confianza regional (Fig. 4A), en septiembre de 1987 y octubre-noviembre de 1988. La distribución geográfica y temporal

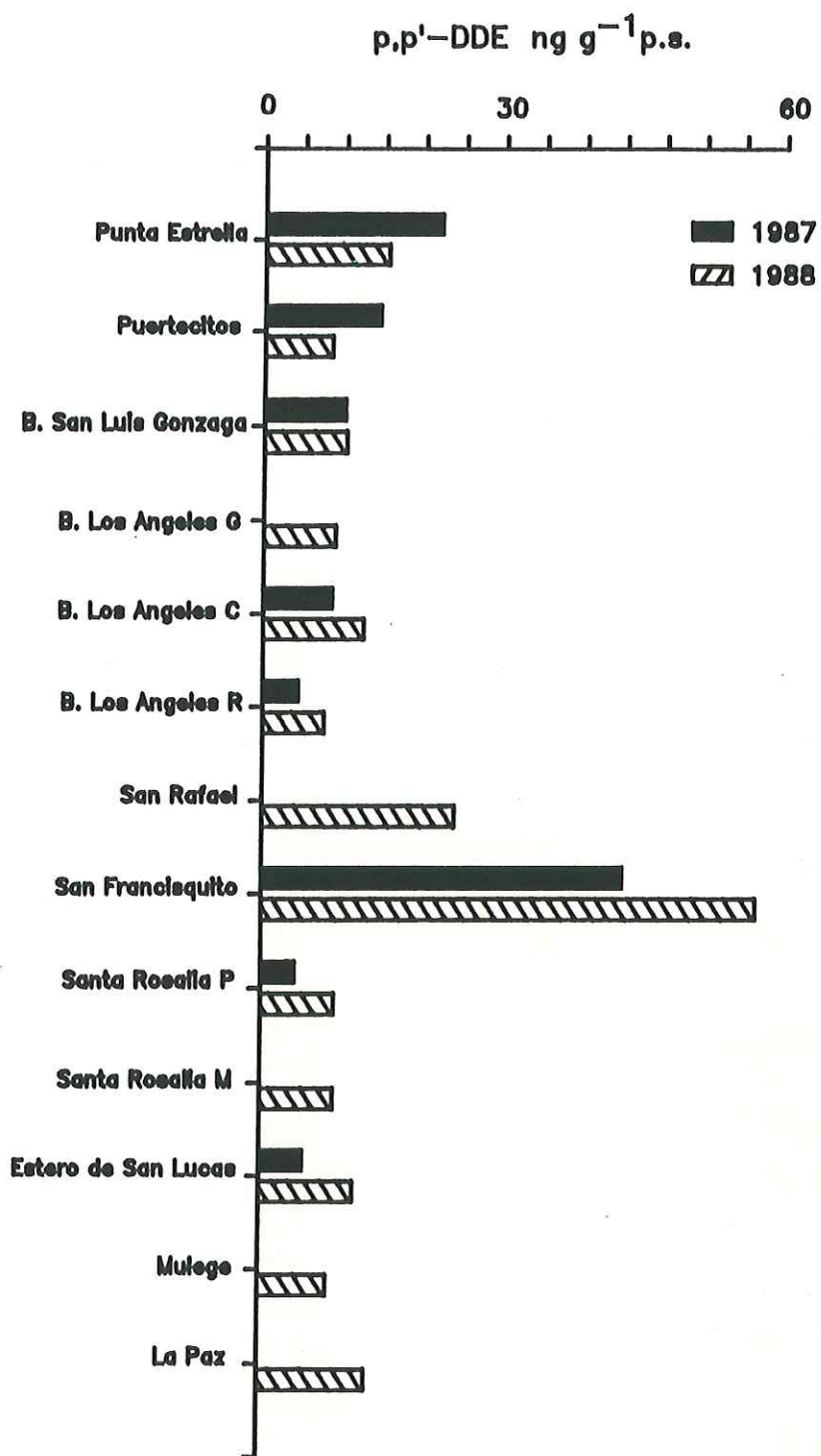


Figura 2. Distribución geográfica de los promedios anuales de  $p,p'$ DDE medido en el mejillón *M. capax* del Golfo de California.

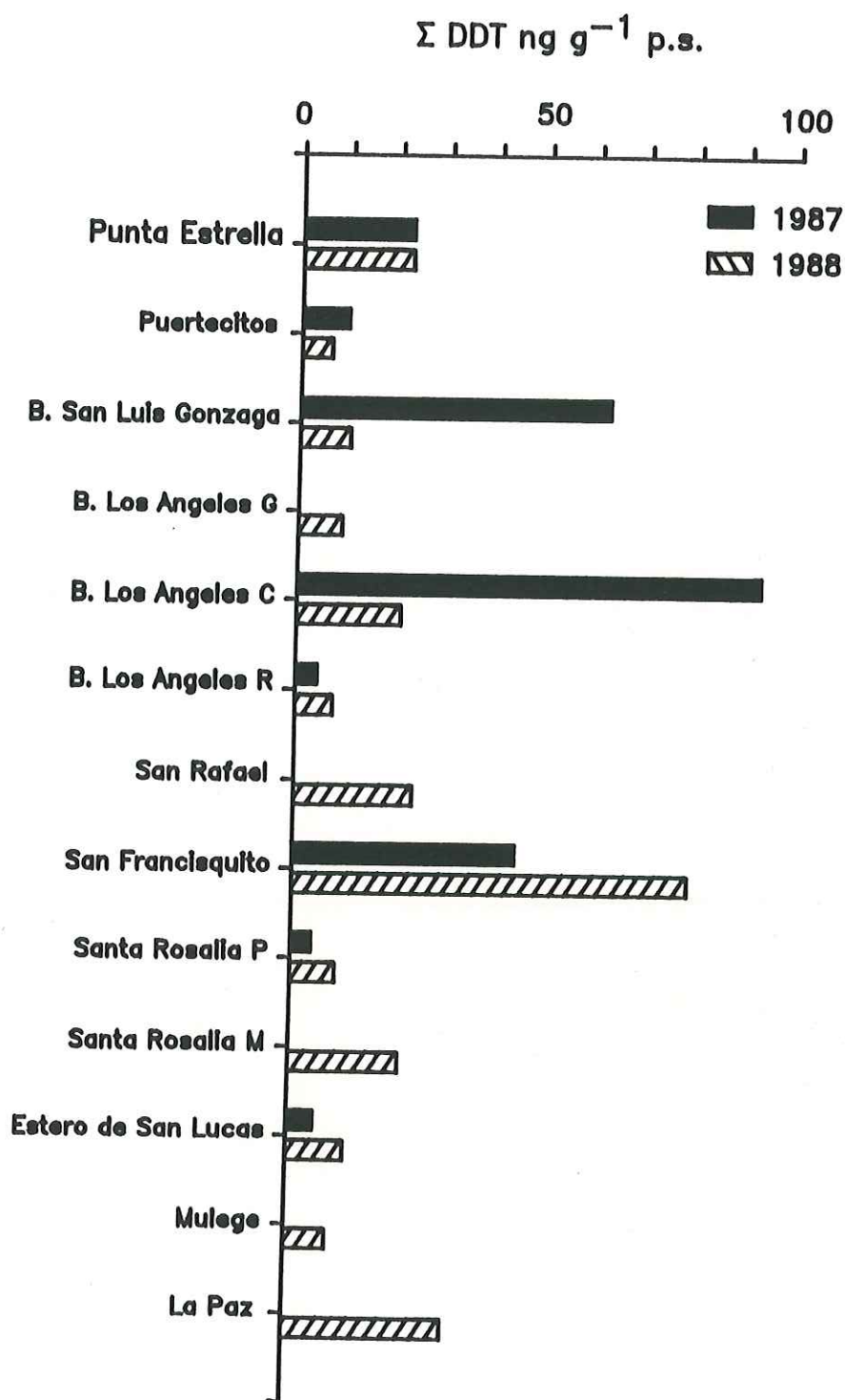


Figura 3. Distribución geográfica de los promedios anuales de  $\Sigma$  DDT medido en el mejillón *M. capax* del Golfo de California.

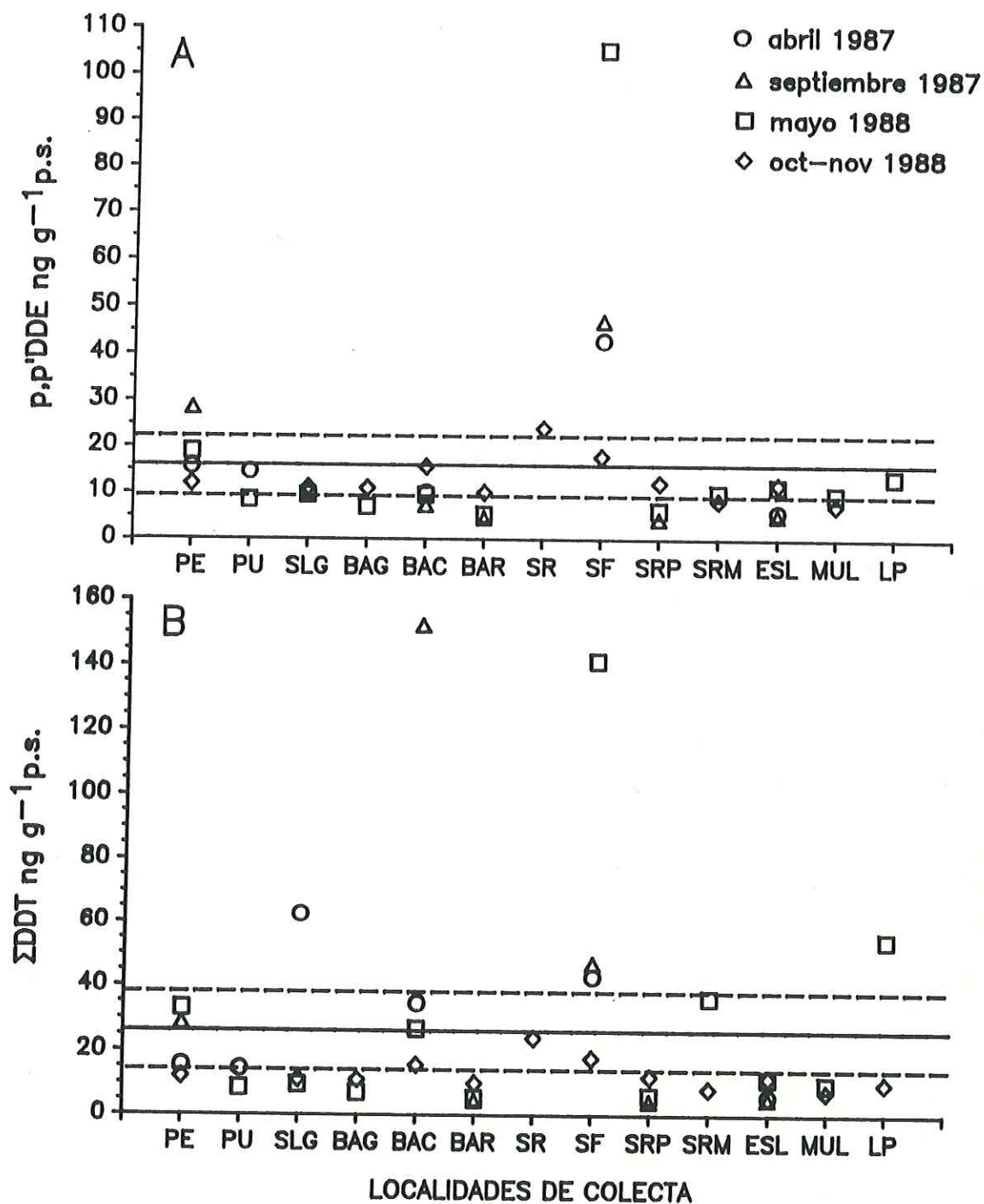


Figura 4. Distribución geográfica y temporal de A) p,p'DDE y B)  $\Sigma$  DDT en *M. capax* del Golfo de California. La línea continua representa la media regional y las líneas discontinuas el intervalo de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

de  $\Sigma DDT$ , fue similar a la del p,p'DDE, excepto por niveles superiores al intervalo de confianza en Bahía de los Angeles durante septiembre de 1987, Bahía de San Luis Gonzaga en abril de 1987 y Bahía de la Paz en mayo de 1988 (Fig. 4B).

El heptacloro epóxico fue el insecticida (no-DDT) más comunmente detectado en el mejillón *M. capax* del Golfo de California. Este compuesto se encontró en aproximadamente el 18% del total de las muestras, seguido por el endrín en un 8% y con porcentajes de ocurrencia menores al 4% el dieldrín, el cis-clordano, el dactal y el endosulfán I (Fig. 5). Ninguno de estos tóxicos presentó niveles mayores a  $16 \text{ ng g}^{-1}$ , durante todo el período de estudio (Tablas III y IV).

En las Tablas VI y VII, se presentan las características de talla, peso húmedo, peso seco, relación peso seco/peso húmedo, porcentaje de humedad y porcentaje de lípidos medidos en el mejillón *M. capax* colectado durante esta investigación. Un análisis de correlación producto-momento de Pearson entre estas características y las concentraciones de p,p'DDE y  $\Sigma DDT$ , no mostró un efecto significativo de la condición fisiológica de los organismos sobre la variación de estos tóxicos, por lo que únicamente se presentan estos datos como información adicional.

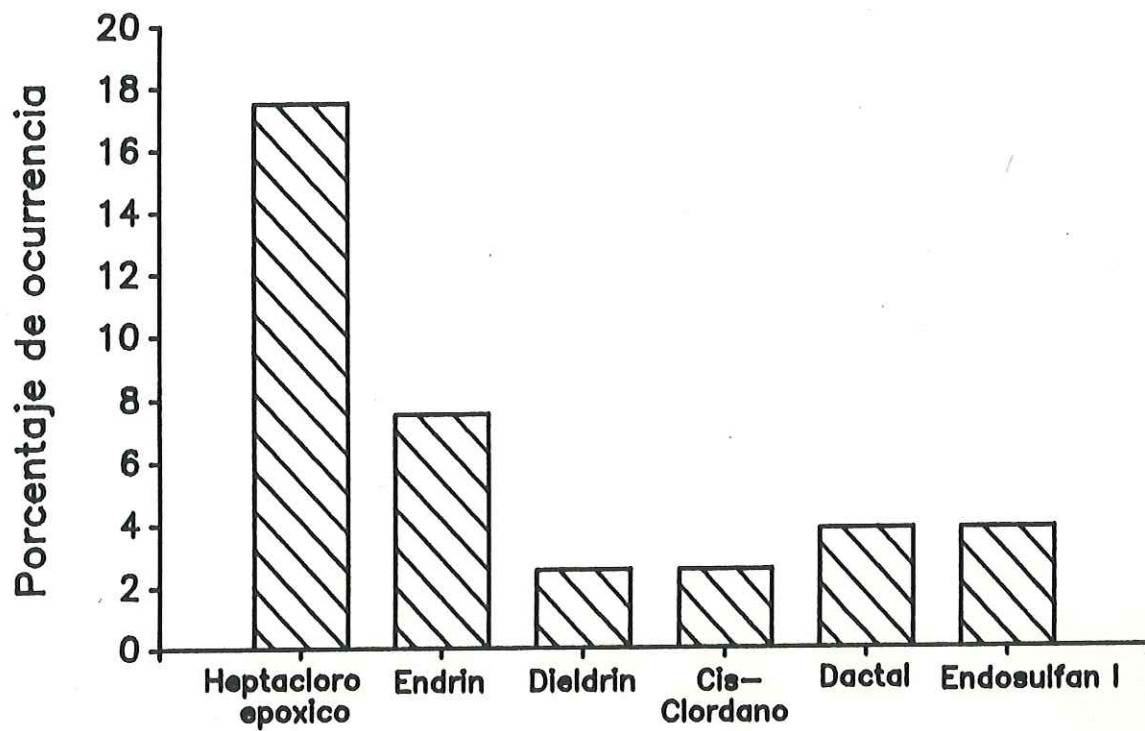


Figura 5. Porcentaje de ocurrencia de insecticidas (no-DDT) medidos en *M. capax* del Golfo de California.

Tabla VI. Características biométricas del mejillón *M. capax* colectado en el Golfo de California durante 1987.

ESTACION	TALLA mm	PH* <sub>g</sub>	Abril		HUMEDAD %	LIPIDOS %
			PS** <sub>g</sub>	PS/PH		
PE	85.57	12.14	2.28	0.19	81.20	2.16
PU	77.83	11.18	2.23	0.20	80.09	2.20
SLG	81.65	13.56	2.80	0.21	79.21	1.81
BAC	87.04	9.85	1.97	0.20	79.97	1.07
SF	86.92	18.62	4.53	0.24	75.74	3.10
ESL	108.68	30.98	8.06	0.26	73.98	2.58
Septiembre						
PE	88.60	11.80	1.94	0.16	83.50	2.41
PU	67.24	7.95	1.23	0.15	84.79	1.34
SLG	80.89	11.88	2.49	0.21	79.47	1.19
BAC	85.74	17.05	3.14	0.19	81.23	2.21
BAR	83.54	21.35	4.82	0.23	77.34	3.31
SF	91.01	22.65	5.10	0.23	77.52	3.50
SRP	91.35	19.36	4.13	0.22	78.49	1.70
ESL	94.00	22.39	4.57	0.21	79.55	1.83

\* Peso húmedo

\*\* Peso seco

Tabla VII. Características biométricas del mejillón *M. capax* colectado en el Golfo de California durante 1988.

ESTACION	TALLA mm	PH* g	Mayo PS** g	PS/PH	HUMEDAD %	LIPIDOS %
PE	87.55	13.07	2.26	0.17	82.65	1.38
PU	73.31	11.76	2.50	0.21	78.70	2.16
SLG	85.63	19.11	4.37	0.23	77.11	2.15
BAG	96.25	17.53	3.66	0.21	79.14	1.68
BAC	85.84	15.20	3.28	0.22	78.39	3.56
BAR	81.05	23.14	6.80	0.29	70.63	2.97
SF	88.24	16.84	2.87	0.17	82.88	2.49
SRP	97.04	21.44	4.60	0.21	78.54	2.00
SRM	76.07	10.53	2.03	0.19	80.73	1.10
ESL	92.78	31.08	7.43	0.24	76.10	2.64
MUL	75.04	8.75	1.44	0.16	83.55	1.72
LP	78.03	9.70	1.60	0.16	83.50	1.38
Octubre-Noviembre						
PE	78.43	7.63	1.16	0.15	84.79	0.82
PU	75.29	9.07	1.36	0.15	85.00	0.92
SLG	81.44	10.45	1.51	0.15	85.50	1.80
BAG	83.46	11.81	1.74	0.15	85.31	1.68
BAC	87.37	11.95	2.25	0.19	81.24	1.88
BAR	151.75	21.14	4.49	0.21	78.72	2.83
SR	78.08	12.96	2.13	0.16	83.52	1.49
SF	88.46	15.60	2.67	0.17	82.85	1.72
SRP	95.44	18.39	2.96	0.16	83.86	1.72
SRM	84.34	8.80	1.23	0.14	86.00	0.90
ESL	111.32	11.67	1.87	0.16	83.92	1.76
MUL	88.07	7.44	1.03	0.14	86.18	0.82
NO	94.73	13.27	1.98	0.15	85.07	1.32
LPC	91.61	14.07	2.06	0.15	85.34	0.82

\* Peso húmedo

\*\* Peso seco

#### IV.- DISCUSION

De acuerdo a los resultados obtenidos en *M. capax*, es evidente, que el p,p'DDE es el insecticida organoclorado más biodisponible y mayormente distribuido en las aguas de la costa oeste del Golfo de California. La distribución geográfica de los niveles de p,p'DDE en el golfo, fué en general, similar durante los períodos de colecta de 1987 y 1988. Las mayores concentraciones de p,p'DDE fueron medidas en San Rafael y San Francisquito, localidades ubicadas en la región central de la península. La figura 4A muestra que los niveles de p,p'DDE en estas dos localidades, fueron mayores a la media regional. Este comportamiento se observó también en Punta Estrella, durante septiembre de 1987 y mayo de 1988. En la figura 4B se observa que comparativamente, el  $\Sigma$  DDT fué más variable y presenta una media regional mayor a la del p,p'DDE. Este hallazgo, se debe a la presencia de o,p'DDD en las localidades de San Luis Gonzaga y Bahía de los Angeles durante 1987 y a la presencia de p,p'DDD y p,p'DDT, medidos en mayo de 1988 en las localidades de La Paz, San Francisquito y Santa Rosalía.

El DDT presenta un esquema complejo de degradación (Menzie, 1974), siendo el DDE el principal producto de hidrólisis del DDT y aparentemente el que constituye una ruta metabólica terminal (Addison, 1976). Juengst y Alexander (1975) y Wolfe *et al*, (1977),

plantean que la conversión de DDT a DDE resulta en un compuesto con una mayor resistencia a la degradación que el pesticida original. El hecho de que el p,p'-DDE sea el metabolito dominante en este estudio, indica la existencia de una degradación por procesos biológicos y/o ambientales del DDT en el ambiente acuático y que el DDT medido en los mejillones de esta región no es de reciente aplicación. Sin embargo, a pesar de haber sido restringido el uso agrícola del DDT en México en la década de 1980, este compuesto y/o sus metabolitos se encuentran aún distribuidos en concentraciones significantes en la biota marina del Golfo de California.

Los resultados del insecticida p,p'-DDE obtenidos en este estudio, permiten separar al Golfo de California en dos zonas bien definidas de distribución de este insecticida: Las localidades de la región central del golfo con mayores concentraciones de p,p'-DDE en la biota analizada y el resto de las localidades examinadas con menores concentraciones de p,p'-DDE. Este hallazgo, evidencia un comportamiento muy local de contaminación por p,p'-DDE en las aguas costeras de la región central. Para la explicación de este fenómeno, el transporte atmosférico puede no ser la ruta principal del aporte directo de este insecticida a esta zona, ya que las localidades analizadas en la región central se encuentran libres de campos agrícolas aledaños y de centros de poblaciones significativos. Las

mayores concentraciones de p,p'-DDE en la región central del Golfo de California pueden atribuirse a una forma de transporte de este insecticida proveniente de los valles agrícolas del sur de Sonora y norte de Sinaloa. La condición hidrofóbica del DDT (Chiou *et al.*, 1977), sugiere que un transporte del tóxico ligado al material orgánico particulado puede constituir un mecanismo de movilización importante de esta categoría de contaminantes. Este mecanismo de movilización de pesticidas ya ha sido señalado para el ambiente marino (Harding, 1986; Fowler, 1990). Investigaciones realizadas en la parte central y sur del Golfo de California, muestran la existencia de un sistema de giros anticiclónicos y de surgencias costeras en esta zona que crean corrientes de agua fría en forma de "plumas" que atraviesan el golfo de este a oeste por la frontera de los giros (Badán-Dangón *et al.*, 1985; Zirino *et al.*, 1991), este fenómeno podría ser un mecanismo de transporte de insecticidas de la región continental a la región costera de la península de Baja California. Sin embargo, esta hipótesis debe aún ser probada.

Otros insecticidas organoclorados estudiados se presentaron ocasionalmente en el área de estudio. El heptacloro epóxico fue detectado en el 18 % y el endrín en el 8 % del total de las muestras analizadas. El dieldrín, el cis-clordano, el dactal y el endosulfan I fueron medidos en menos del 5 % de las muestras examinadas. Estos insecticidas fueron detectados únicamente en

mejillones colectados en la parte norte del Golfo de California, esto indica que el valle agrícola de Mexicali puede constituir su principal fuente de aporte. La información disponible sobre el uso de plaguicidas en el Valle de Mexicali es parcial e incompleta, las estadísticas muestran, que el endosulfán I es el organoclorado que aparentemente se ha aplicado en mayores volúmenes durante la última década en este valle agrícola (Román y Trava, 1986; SARH, 1989).

La literatura señala, que las actividades industriales, son fuentes de bifenilos policlorados (BPC) al ambiente acuático (Ghirelli *et al.*, 1984). Las altas concentraciones de estos compuestos en la zona costera han sido asociadas a fuentes directas, principalmente a las descargas de aguas industriales y/o domésticas (Goldberg *et al.*, 1978; Martin, 1985). La ausencia de una fuerte actividad industrial y centros de población significativos en los márgenes de la costa oeste del Golfo de California, puede explicar que no hayan sido detectados los BPC en el área analizada.

Debido a que las fluctuaciones en los niveles de los tóxicos analizados en este estudio no fueron consistentes en cada localidad, es difícil determinar las causas exactas de las variaciones observadas en esta investigación. Marchand *et al.* (1976), establece tres factores que pueden jugar un papel importante en las

fluctuaciones de los niveles de hidrocarburos clorados en los moluscos: Los cambios en los niveles de contaminantes en el medio ambiente, las variaciones en los parámetros ambientales en el agua y la estacionalidad en los ciclos reproductivos que pueden alterar el metabolismo de los organismos bioindicadores.

En cuanto al comportamiento temporal de la contaminación por insecticidas en el área de estudio, los resultados no presentan una tendencia definida. Durante las tres primeras colectas (1987 y 1988), las concentraciones de DDT (p,p'DDE y  $\Sigma$  DDT) no mostraron diferencias importantes entre sí. Durante el último muestreo realizado en octubre-noviembre de 1988, los niveles de DDT fueron comparativamente menores a los obtenidos en las colectas previas. Sin embargo, este comportamiento temporal no es concluyente, ya que, para conocer los patrones temporales de contaminación por hidrocarburos clorados utilizando organismos bioindicadores, se requiere de estudios a más largo plazo (Satmadjis y Votsinou-Taliadouri, 1983; Phillips y Segar, 1986).

Diversos antecedentes reconocen, el efecto importante del contenido de lípidos sobre la variabilidad de los insecticidas organoclorados en organismos bioindicadores (Phillips, 1980). En este estudio, el porcentaje de lípidos en el mejillón *M. capax* no mostró una relación significativa con el DDT ( $p > 0.05$ ). Este resultado

puede ser explicado por dos causas: Debido a la alta variabilidad geográfica del tóxico que enmascara cualquier correlación organoclorado-lípido (Phillips, 1980) y a la variación de la condición sexual de los organismos (el contenido de lípidos no es homogéneo) en las distintas localidades geográficas y períodos de colecta. El mejillón *M. capax* se ha caracterizado por ser un desovador parcial en el Golfo de California (Garza-Aguirre, 1987).

Los niveles de  $\Sigma$  DDT medidos en este estudio fueron similares a los señalados en mejillones *M. capax* y almejas *Chione californiensis* en el alto Golfo de California (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1988a). El intervalo de concentraciones de  $\Sigma$  DDT (4.3 a 152 ng g<sup>-1</sup> peso seco) también fue similar al señalado en el mejillón *Mytilus californianus* de la costa noroccidental de Baja California (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1983). Sin embargo, las diferencias en la especie utilizada, las diferencias en los tamaños, y las diferencias de los efectos estacionales, limita la capacidad de hacer comparaciones directas entre estos estudios (Fowler, 1990).

El Departamento de Salud de los EUA (1980), ha publicado los límites máximos de las sustancias tóxicas recomendados para la protección de la biota acuática. Los niveles recomendados de los residuos de hidrocarburos clorados en moluscos marinos, son de 0.3  $\mu$ g g<sup>-1</sup> peso húmedo para el aldrín, el dieldrín, el heptacloro

y el heptacloro epóxico y de  $5.0 \mu\text{g g}^{-1}$  peso húmedo para el DDT. Los límites de otros pesticidas en moluscos bivalvos aún no han sido establecidos. De acuerdo a los pesos húmedos y pesos secos descritos en las Tabla VI y VII, los valores recomendados por el Departamento de Salud pueden ser expresados en base de peso seco, correspondiendo  $1.62 \mu\text{g g}^{-1}$  para los pesticidas descritos y de  $27.15 \mu\text{g g}^{-1}$  para el DDT. Los resultados de las concentraciones de estos insecticidas detectados en el mejillón *M. capax*, estuvieron por debajo de estos límites durante los dos años de muestreo.

## V.- CONCLUSIONES.

De los compuestos sintéticos organoclorados detectados en el mejillón *Modiolus capax*, solo se presentó regularmente el p,p'-DDE y ocasionalmente o,p'-DDD, p,p'-DDD, epóxido de heptacloro, dactal, endrín, dieldrín, cis-clordano y endosulfan I.

El p,p'-DDE mostró un patrón de distribución geográfica similar durante los dos años de estudio, con concentraciones bajas en los extremos norte y sur del golfo y máximos valores en la zona central.

La presencia de los metabolitos DDE y DDD sugieren que el DDT detectado en este estudio es producto de su uso en épocas pasadas.

Se define una zona de acumulación de compuestos tóxicos en la parte central del Golfo de California, que comprende las localidades de Bahía de los Angeles, San Rafael y San Francisquito.

La distribución de compuestos orgánicos sintéticos en la zona de estudio puede explicarse por su transporte desde los valles agrícolas en Mexicali, Sonora y Sinaloa asociado a los patrones de circulación que presenta el Golfo de California.

El comportamiento en la distribución de los insecticidas a lo largo de la costa oeste del Golfo de California se puede explicar

por variaciones en los niveles de los contaminantes y parámetros ambientales así como por las condiciones fisiológicas de los organismos bioindicadores.

Las concentraciones de DDT detectadas en *Modiolus capax*, se encuentran por debajo de los límites establecidos (5 mg/kg peso húmedo) por el Departamento de Salud de los EUA que pueden causar problemas a la salud humana.

## VI.- LITERATURA CITADA

- Addison, R.F., 1976. Organochlorine compounds in aquatic organisms: their distribution, transport and physiological significance. In: A.P.M. Lockwood (Ed.). Effects of Pollutants on Aquatic Organisms. Cambridge Univ. Press: 127-143.
- Albert, L., G. Aranda, F. Rincón, R. Loera, 1985. Estado actual del uso de plaguicidas en México y sus efectos sobre la salud y el medio ambiente. Problemas de Contaminación en México. 1(1):10-16.
- Alvarez-Borrego, S. and J. R. Lara-Lara, 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: B. R. T. Simoneit and J. P. Dauphin (Eds.). The Gulf and Peninsular Province of the Californias. Am. Assoc. Petr. Geol. Memoir 47. Chp. 26.
- Badán-Dangón, A., C. J. Koblinsky and T. Baumgartner, 1985. Spring and summer in the Gulf of California: Observations of surface thermal patterns. Oceanol. Acta 8(1):13-22.
- Bligh, E.G. and W. J. Dyer, 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol. 37(8):911-917.

- Boon, J. P., J. M. Everaarts, W. W. Kastoro, H. Razak, H. Sumanta, I. Sumarino, P. H. Nelissen, I. Stefels, M. Hillebrand, 1989. Cyclic organochlorines in epibenthic organisms from coastal waters around East Java. *Netherlands J. Sea Res.* 23(4):427-439.
- Bückle-Ramírez, F. y B. C. Farfán, 1987. Experiencias y Posibilidades del Cultivo de *Modiolus capax* en Bahía de los Angeles, B.C., México. Mem. del Encuentro Regional Sobre Producción de Mejillón (Cultivo, Industrialización, Comercialización y Consumo). Ensenada, B.C. 119-127.
- Cossa, D., 1989. A review of the use of *Mytilus* spp. as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal water. *Oceanol. Acta* 12(4):417-435.
- Chiou, C.T., V. H. Freed, D. W. Schmedding, and R. L. Kohnert, 1977. Partition coefficient and bioaccumulation of selected organic chemicals. *Environ. Sci. Technol.* 11(5):475-478.
- Farrington, J.W., 1983. Bivalves as sentinels of coastal chemical pollution: The Mussel (and Oyster) Watch. *Oceanus* 26(2):18-29.
- Fowler, S.W., 1990. Critical review of selected heavy metal and chlorinated hydrocarbon concentrations in the marine environment. *Mar. Environ. Res.* 29:1-64.

- Garza-Aguirre, M.C., 1987. Ciclo Reproductivo, Estructura de la Población y Crecimiento del Mejillón *Modiolus capax* (Conrad)(Bivalvia-Mytilidae) en Bahía de los Angeles, Ensenada, B.C. Tesis Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 95 pp.
- Ghirelli, R.P., F. H. Palmer, T. L. Spielman, M. Jung, R. L. Severeid, G. W. Bowes and D. B. Cohen, 1984. Polychlorinated Biphenyls (PCBs). CSWRCB. Toxic Substances Control Program. Special Project Report No. 83-1sp. 173 pp.
- Goldberg, E.D., V. T. Bowen, J. W. Farrington, G. Harvey, J. H. Martin, P. L. Parker, R. W. Risebrough, W. Robertson, E. Schneider and E. Gamble, 1978. The Mussel Watch. Environ. Conserv. 5:101-125.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., S. A. Sañudo-Wilhelmy y B. P. Flores-Báez, 1983. Variación espacial y temporal de pesticidas organoclorados en el mejillón *Mytilus californianus* (Conrad) de Baja California. Parte I. Ciencias Marinas 9(1):7-18.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., G. Flores-Muñoz y J. A. Villaescusa-Celaya, 1988a. Hidrocarburos clorados en moluscos del Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. Ciencias Marinas. 14(3):91-113.

- Gutiérrez-Galindo, E. A., G. Flores Muñoz, M. Villa-Andrade y J. A. Villaescusa-Celaya, 1988b. Insecticidas organoclorados en peces del valle de Mexicali, Baja California, México. *Ciencias Marinas* 14(4):1-22.
- Harding, G.C., 1986. Organochlorine dynamics between zooplankton and their environment, a reassessment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 33:167-191.
- Juengst, F.W. and M. Alexander, 1975. Effect of environment conditions on the degradation of DDT in model marine ecosystems. *Mar. Biol.* 33:1-6.
- Larson, P., 1985. Contaminated sediments of lakes and oceans act as sources of chlorinated hydrocarbons for release to water and atmosphere. *Nature* 317:347-349.
- Marchand, M., D. Vas and E. K. Duursma, 1976. Levels of PCBs and DDTs in mussels from the N.W. Mediterranean. *Mar. Pollut. Bull.* 7:65-69.
- Martin, M., D. Crane, T. Lew and W. Seto, 1980. California Mussel Watch: 1979-1980 synthetic organic compounds in mussels *Mytilus californianus* and *M. edulis*, along the California coast and selected harbors and bays. Part II. State Water Resources Control Board, Sacramento, California, U.S.A. Water Quality Monitoring Report 80-8.

- Martin, M., 1985. State Mussel Watch: toxic surveillance in California. *Mar. Pollut. Bull.* 16:140-146.
- Martin, M., M. Stephenson, K. A. Nishikawa-Kinomura and Gutiérrez-Galindo, E.A., 1990. Baja California/California Mussel Watch: monitoring toxic substances in the California coastal zone. In: *Environmental Hazards and Bioresources Management in the United States-Mexico Borderland*. University of California Los Angeles, U.S.A.
- Menzie, C.M., 1974. *Metabolism of Pesticides. An Update*. U.S. Fish and Wildlife Service. Special Scientific Report No. 184. Washington, D.C. 484 pp.
- Mena, J. y R. Loera, 1986. *Impacto de las plagas en la agricultura en México*. Cuadernos CIDICAP, Calera, Zacatecas, México.
- Olsen, C. R., N. H. Cutshall and I. L. Larsen, 1982. Pollutant-particle associations and dynamics in coastal marine environments: a review. *Mar. Chem.* 11:501-533
- Phillips, D.J.H., 1980. *Quantitative Aquatic Biological Indicators*. Applied Science Publisher, London. 488 pp.
- Phillips, D.J.H. and D. A. Segar, 1986. Use of bio-indicators in monitoring conservative contaminants: programme design imperatives. *Mar. Pollut. Bull.* 17:10-17.

- Phillips, D. J. H. and S. Tanabe, 1989. Aquatic pollution in the Far East. *Mar. Poll. Bull.* 20(7):297-303.
- Pionke, H. B. and G. Chesters, 1973. Pesticide-sediment-water interactions. *J. Environ. Quality* 2(1):29-45.
- Pimentel, D. and C. A. Edwards, 1982. Pesticides and ecosystems. *Bio-Science* 32(7):595-600.
- Restrepo, I., 1988. *Naturaleza Muerta. Los Plaguicidas en México.* Ediciones Océano. México; 235 pp.
- Román, J.C. y J. L. Trava, 1986. *Uso de Agroquímicos en el Valle de Mexicali.* Colegio de la Frontera Norte, Mexicali, B.C. Manuscrito, 13 pp.
- S.A.R.H., 1989. *Venta de Agroquímicos Valle de Mexicali 1989.* Programa de Sanidad Vegetal en el Estado de Baja California. Mexicali, B.C., Manuscrito 5 pp.
- Satmadjis, J. and F. Votsinou-Taliadouri, 1983. *Mytilus galloprovincialis* and *Parapenaeus longirostris* as bioindicators of heavy metal and organochlorine pollution. *Mar. Biol.* 76:115-124.

- Sericano, J.L., E. L. Atlas, T. L. Wade and J. M. Brooks, 1990. NOAA's status and trends mussel watch program: chlorinated pesticides and PCBs in oysters (*Crassostrea virginica*) and sediments from the Gulf of Mexico, 1986-1987. *Mar. Environ. Res.* 29:161-203.
- Spencer, W. F., W. J. Farmer and W. A. Jury, 1982. Review: behavior of organic chemicals at soil, air, water interfaces as related to predicting the transport and volatilization of organic pollutants. *Environ. Toxicol. Chem.* 1(1):17-26.
- Tanabe, S., H. Hidaka and R. Tatsukawa, 1983. PCBs and chlorinated hydrocarbon pesticides in Antarctic atmosphere and hydrosphere. *Chemosphere* 12(2): 277-288.
- Tanabe, S., N. Kannan, M. Fukushima, T. Okamoto, T. Wakimoto and R. Tatsukawa, 1989. Persistent organochlorines in Japanese coastal waters: an introspective summary from a Far East Developed Nation. *Mar. Poll. Bull.* 20(7):344-352.
- UNS, 1984. Consolidated list of products whose consumption and/or sale have been banned, withdrawn, severely restricted or not approved by governments. United National Secretariat. General Assambly Resolution 37/137.

- US Department of Health and Human Services, 1980. Action Levels for Poisonous or Deleterious Substances in Human Food and Animal Food. US Department of Health and Human Services, Public Health Services, Food Drug Administration.
- Waldron, I. and R. E. Ricklefs, 1973. Environment and Population Problems and Solutions. Holt, Rinehart and Winston, Inc. 232 pp.
- Wolfe, N.L., R. G. Zepp, D. F. Paris, G. L. Boughman and R. C. Hallis, 1977. Methoxychlor and DDT degradation in waters: rates and products. Environ. Sci. & Technol. 11:1077-1081.
- Woodwell, G. M., 1970. Effects of pollution on the structure and physiology of ecosystems. Science 168:429-433.
- Young, D.R., T. C. Hessen and D. J. McDermott, 1976. An offshore biomonitoring system for chlorinated hydrocarbons. Mar. Pollut. Bull. 7:156-159.
- Zeitzschel, B., 1969. Primary productivity in the Gulf of California. Mar. Biol. 3(3):201-207.
- Zirino, A., R. A. Fuhrmann, R. L. Bernstein, S. Alvarez-Borrego, G. Gaxiola-Castro and J. R. Lara-Lara, 1991. Gulf of California: prediction of surface pCO<sub>2</sub> from satellite imagery. J. Geophys. Res. (In Press).