

INSECTICIDAS ORGANOCLORADOS EN PECES DEL VALLE DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MEXICO

ORGANOCHLORINE INSECTICIDES IN FISHES FROM THE MEXICALI VALLEY, BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Efraín A. Gutiérrez-Galindo
Gilberto Flores-Muñoz
Martín F. Villa-Andrade
Julio A. Villaescusa-Celaya

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apdo. Postal 453
Ensenada, Baja California, México

Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G., Villa-Andrade, M. y Villaescusa-Celaya, J.A. Insecticidas organoclorados en peces del Valle de Mexicali, Baja California, México. *Organochlorine Insecticides in Fishes from the Mexicali Valley, Baja California, Mexico*. *Ciencias Marinas* 14(4): 1-22, 1988.

RESUMEN

Este estudio describe insecticidas organoclorados en peces *Cyprinus carpio* y *Tilapia sp.* colectados durante 1985-86 en las aguas de los canales y drenes del valle agrícola de Mexicali, situado en Baja California, México. Las concentraciones de DDT fueron significativas en todas las muestras colectadas. No se detectaron niveles importantes de otros compuestos orgánicos sintéticos. De las dos especies de peces examinadas, *C. carpio* mostró concentraciones mayores de DDT. Se discuten los resultados en relación a la contaminación temporal y geográfica. También, los resultados no indican una contaminación por DDT en estas especies que amenace a la salud pública. Especies de peces similares que fueron capturados en el Valle Imperial, EUA (alrededor al Valle de Mexicali), presentaron concentraciones mayores de DDT en el músculo axial que los peces capturados al sur en Baja California, México.

ABSTRACT

This study describes organochlorine insecticides in fishes *Cyprinus carpio* and *Tilapia sp.* collected during 1985-86 from freshwater drainage and irrigation canals of the agricultural Mexicali Valley of Baja California, Mexico. DDT concentrations were significant at all sampling sites. Important levels of other synthetic organic compounds were not detected. Of the two species examined, *C. carpio* exhibited the highest DDT concentrations. The results are discussed in relation to temporal and geographical pollution. Also, the results indicate no major threat to public health from DDT in these species. Similar species of fish caught in Imperial Valley, USA (near the Mexicali Valley), had higher DDT concentrations in the axial muscle tissue than specimens caught to the south in Baja California, Mexico.

INTRODUCCION

A partir de la década de los años 40, los pesticidas mayormente aplicados en varios países fueron los del tipo clorados. Con el tiempo, éstos han sido sustituidos por produc-

INTRODUCTION

As of the 1940's, the pesticides most used in several countries were those of the chlorinated type. With time, these have been replaced by products with different physico-

tos de calidad fisicoquímica distinta, tales como los organofosforados, carbamatos y piretrinas. Esta sustitución se inició a nivel mundial en la década de los años 50 y en particular para el Valle de Mexicali a partir de 1954 (Miranda-Meneses, 1982).

En México, el Valle de Mexicali es una de las principales regiones en donde se utilizan métodos agrícolas modernos altamente tecnificados. La agricultura en este Valle se desarrolló a partir del cultivo del algodón, aunque en la actualidad existe una mayor diversidad de cultivos (Nieblas-Ortiz, 1986). El algodón es el que mayor atención ha recibido desde el punto de vista de control de plagas, cerca del 70% del volumen total de insecticidas utilizados recientemente son destinados a este cultivo (Miranda-Meneses, 1982). Según antecedentes, el uso de insecticidas en este Valle se inició a partir de 1912 con el establecimiento del cultivo algodonnero, el tipo de productos utilizados fueron sales inorgánicas de plomo y arsénico. En 1948, surgió una nueva etapa en el control de plagas con la introducción al mercado de insecticidas organoclorados, destacándose el DDT en cuanto a volúmenes aplicados (Miranda-Meneses, 1982). Actualmente, no se cuenta con información fidedigna sobre las cantidades totales aplicadas de estos compuestos organoclorados, aunque su utilización ha disminuido considerablemente en la última década (Román y Trava, 1986; Nieblas-Ortiz, 1986).

Debido a la aplicación de los pesticidas organoclorados en años anteriores en el Valle de Mexicali y a las características fisicoquímicas que presentan, nos permite considerar que estos compuestos se encuentran ampliamente distribuidos en todos los componentes del ecosistema de este valle agrícola. A nuestro conocimiento no existen antecedentes de estudios que muestren un panorama regional de la contaminación por estos plaguicidas en peces residentes en los canales y drenes de esta zona. Máximo que en este distrito de riego (No. 14), se desarrollan importantes pesquerías de tilapia (*Tilapia sp.*), carpa (*Cyprinus carpio*), bagre (*Ictalurus punctatus*), lobina (*Micropterus salmoides*) y lisa (*Mugil cephalus*), los cuales en su mayoría son canalizados al comercio local con fines de consumo humano.

chemical qualities, such as organophosphates, carbamates and pyrethrins. This replacement began on a world scale during the fifties and, for the particular case of the Mexicali Valley, in 1954 (Miranda-Meneses, 1982).

In Mexico, the Mexicali Valley is one of the main regions in which high technology modern agricultural methods are used. Agriculture was first introduced into this valley with the cultivation of cotton, though at the present time a greater variety of cultivations exist (Nieblas-Ortiz, 1986). From a pest control point of view, most attention has been paid to cotton and in recent times close to 70% of the total volume of insecticides used has been destined for this cultivation (Miranda-Meneses, 1982). Records show that insecticides were first used in this valley in 1912, when cotton began to be cultivated, and that inorganic lead salts and arsenic were the type of products used. When organochlorine insecticides were put on the market in 1948, a new phase in pest control began, one in which DDT stands out as the most used in terms of volumes applied (Miranda-Meneses, 1982). At present, there is no reliable information on the total quantities of these organochlorine compounds applied, though their use decreased considerably in the last decade (Román and Trava, 1986; Nieblas-Ortiz, 1986).

In view of the application in previous years of organochlorine pesticides in the Mexicali Valley and of their physicochemical characteristics, it can be considered that these compounds are widely distributed in all components of this agricultural valley ecosystem. To our knowledge, there are no previous studies which present a regional panorama of the contamination by these pesticides in fish found in drainage and irrigation canals in this zone, and in this irrigation district (No. 14), important fisheries are carried out of tilapia (*Tilapia sp.*), carp (*Cyprinus carpio*), catfish (*Ictalurus punctatus*), largemouth bass (*Micropterus salmoides*) and striped mullet (*Mugil cephalus*), which are for the most part sold locally for human consumption.

Antecedentes de contaminación de plaguicidas en peces colectados en el sistema de riego del Valle Imperial de California, EUA (aledaño al Valle de Mexicali), señalan niveles de DDT y otros pesticidas organoclorados en *Tilapia sp.* y *C. carpio*, superiores al criterio de alta concentración ($5\mu\text{g/g}$ de tejido húmedo), propuesto a nivel estatal (Agee, 1984; Watkins *et al.*, 1985). Clark y Krynitsky (1983), a partir de sus resultados de concentraciones de DDT detectados en peces y aves sugieren que este compuesto tiene su origen en una fuente local.

El estudio que a continuación se describe tiene como objetivos primordiales: a) definir los tipos y niveles de insecticidas organoclorados en peces *Tilapia sp.* y *C. carpio* residentes en los canales y drenes del Valle de Mexicali. b) Determinar la distribución geográfica (identificándose sitios de mayor concentración) y temporal de estos pesticidas en el área. c) Establecer si los niveles de estos tóxicos en los peces examinados no representan un peligro para el consumo humano. d) Finalmente, comparar los resultados de esta investigación con los señalados por diversos investigadores en el vecino Valle Imperial de California, EUA. Este trabajo pretende además, proporcionar información de referencia que permita conocer la evolución de este tipo de contaminación por insecticidas en la biota existente en el Valle de Mexicali.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del Area de Estudio

En el extremo NE de la Península de Baja California entre los paralelos $31^{\circ} 45'$ y $32^{\circ} 45' \text{ N}$ y los meridianos $114^{\circ} 45'$ y $115^{\circ} 30' \text{ W}$, se encuentra localizado el Valle de Mexicali, B.C. (Fig. 1). Presenta una forma irregular, teniendo sus límites: al norte con la frontera de los Estados Unidos de Norteamérica, al sur con el Golfo de California, al este con el desierto de Sonora y al oeste con la Laguna Salada. Este valle está considerado como una de las zonas agrícolas más importantes del país y cuenta con un área total de 328,000 hectáreas, de las cuales 186,000 ha son de riego. Cuenta además con 2522km de canales y 1492km de drenes (SARH, 1981).

Records of the contamination by pesticides of fish collected from the irrigation system of Imperial Valley, California, USA (adjacent to the Mexicali Valley), indicate higher levels of DDT and other organochlorine pesticides in *Tilapia sp.* and *C. carpio* than those set by the high concentration criterion ($5\mu\text{g/g}$ wet tissue) proposed for California (Agee, 1984; Watkins *et al.*, 1985). From their results of DDT concentrations detected in fish and birds, Clark and Krynitsky (1983) suggest that this compound originates from a local source.

The main objectives of the present study are: a) to define the types and levels of organochlorine insecticides in fishes *Tilapia sp.* and *C. carpio* found in drainage and irrigation canals in the Mexicali Valley, b) to determine the geographical (indicating the sites of higher concentrations) and temporal distribution of these pesticides in the area, c) to establish whether the levels of these toxic substances in the examined fish are dangerous for human consumption, and finally, d) to compare the results of this study with those reported by various researchers for the neighbouring Imperial Valley in California, USA. This project also aims to provide reference data which can be used to study the evolution of contamination by this type of insecticide in the biota which exists in the Mexicali Valley.

MATERIALS AND METHODS

Description of the Study Area

The Mexicali Valley, B.C. (Fig. 1), is located in the NE of the Peninsula of Baja California, between parallels $31^{\circ} 45'$ and $32^{\circ} 45' \text{ N}$ and meridians $114^{\circ} 45'$ and $115^{\circ} 30' \text{ W}$. It has an irregular shape and is bordered on the north by the United States of America, on the south by the Gulf of California, on the east by the Sonora desert and on the west by Laguna Salada. This valley is considered one of Mexico's most important agricultural regions and has a total area of 328,000 hectares, of which 186,000 are under irrigation. It also has 2522km of irrigation canals and 1492km of drainage canals (SARH, 1981).

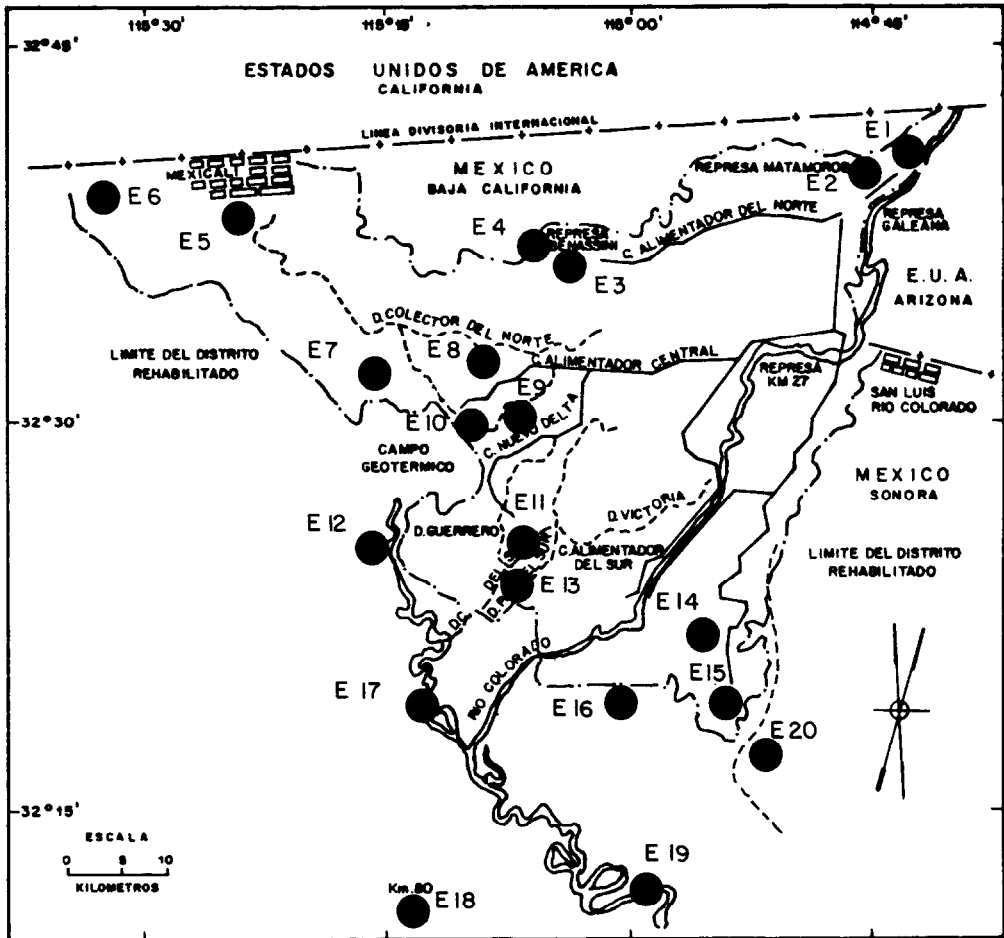


Figura 1. Area de estudio y estaciones de colecta de *Tilapia sp.* y *C. carpio* en el Valle de Mexicali, Baja California.

Figure 1. Study area and sampling stations of *Tilapia sp.* and *C. carpio* in the Mexicali Valley, Baja California.

Metodología

Se realizaron dos muestreos, el primero del 12 al 17 de agosto de 1985 y el segundo del 5 al 10 de febrero de 1986. En cada uno se muestrearon 20 localidades distribuidas en el sistema de riego del Valle de Mexicali (Fig. 1). No en todas las localidades se colectaron los peces *Tilapia sp.* y *C. carpio* debido a que no siempre se encontraron disponibles durante los dos muestreos (Tabla I). Las muestras fueron

Methodology

Two samplings were carried out, the first from 12 to 17 August, 1985, and the second from 5 to 10 February, 1986. On both occasions, 20 sites distributed throughout the irrigation system in the Mexicali Valley were sampled (Fig. 1). The fishes *Tilapia sp.* and *C. Carpio* were not collected at all locations because they were not always available during the two samplings (Table I). The samples

Tabla I. Localidades de muestreo y especies colectadas durante agosto de 1985 y febrero de 1986 en el Valle de Mexicali, B.C.**Table I.** Sampling stations and species collected during August 1985 and February 1986 in the Mexicali Valley, B.C.

Estación	Localidad	Especies colectadas
1	Represa "El Campillo"	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
2	Canal Alamo, Col. Cuervitos	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
3	Dren, Ej. Yucatán	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
4	Dren La Mesa, Ej. Irapuato	<i>Tilapia sp.</i>
5	Dren Laguna México	<i>Tilapia sp.</i>
6	Canal A. Mexicali-Tijuana	<i>C. carpio</i>
7	Dren Col. Cerro Prieto	<i>C. carpio</i>
8	Dren Ej. Jalapa	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
9	Dren Ej. Nuevo León	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
10	Dren Col. Cerro Prieto	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
11	Canal Nuevo Delta, Ej. Son.	<i>C. carpio</i>
12	Canal Ej. Cucapah	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
13	Dren Col. Carranza	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
14	Dren Estación Coahuila	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
15	Canal Revolución, Col. Zac.	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
16	Dren Col. Zacatecas	<i>Tilapia sp.</i>
17	Dren Campa Mosqueda	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
18	Rfo Colorado Km. 80	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
19	Rfo Colorado Ej. Oviedo M.	<i>Tilapia sp.</i> y <i>C. carpio</i>
20	Dren Col. Plan R. Nacional	<i>Tilapia sp.</i>

obtenidas con atarraya, colocando los organismos en bolsas de papel aluminio etiquetadas y conservándose congeladas en hielo seco (-20°C), hasta su traslado al laboratorio. En el laboratorio las muestras fueron descongeladas y lavadas con agua desionizada. Se determinaron las características biométricas, talla (cm) y peso individual (g) del organismo. Para el análisis químico, se utilizó una muestra compuesta por ambos músculos axiales del

were obtained with a casting net and the organisms placed in labelled foil paper bags and kept frozen in dry ice (-20°C), until being transferred to the laboratory. In the laboratory, they were defrosted and washed with deionized water. The biometric characteristics, size (cm) and individual weight (g) of the organism were determined. For the chemical analysis, a sample was used composed of both axial muscles of the fish plus deionized water

pez más agua desionizada libre de pesticidas organoclorados en una relación 1:1 P/V, siendo posteriormente la muestra homogeneizada en un Virtis 45.

Para calcular el porcentaje de humedad del músculo axial se tomó 1g de tejido el cual se secó a 70°C durante 72 horas. Las muestras homogeneizadas fueron conservadas a -20°C en frascos de vidrio previamente descontaminados con mezcla crómica-acetona-hexano (grado pesticida) hasta su posterior análisis químico. La extracción de hidrocarburos clorados se realizó de acuerdo a la técnica descrita por Young *et al.* (1976).

La separación de los hidrocarburos clorados se llevó a cabo en un cromatógrafo de gases Varian 3700 con un detector de captura de electrones Ni⁶³ y un sistema procesador de datos (Varian CDS-111), equipado con dos columnas capilares de sílice la primera DB-5 y la segunda DB-17 fue utilizada para confirmar las separaciones. Ambas columnas de 30m de longitud y 0.25mm de diámetro interno. Las muestras se separaron simultáneamente en ambas columnas, utilizando un solo inyector, bajo las siguientes condiciones de operación:

	DB-5	DB-17
Temperatura del inyector	200°C	200°C
Temperatura del detector	290°C	290°C

Programa de temperatura de la columna:

- Temperatura inicial: 150°C (por 1 min).
- Razón del programa: 5°C/min (por 10 min) y 2°C/min (por 20 min).
- Temperatura final: 240°C.

Se utilizó nitrógeno como gas transportador a una velocidad lineal de 27cm/s para la columna DB-5 y 23cm/s para la columna DB-17.

Debido a que algunas muestras contienen una mayor concentración de pesticidas fue necesario hacer diluciones (1:10, 1:100). Estas fueron separadas en un cromatógrafo de gases Varian 3500 con un detector de captura de electrones Ni⁶³ y un procesador de datos (Varian CDS-111), equipado con una columna capilar de sílice de fase líquida no polar (DB-1) de 30m de largo y 0.25mm de diámetro

free of organochlorine pesticides in a 1:1 P/V ratio. The sample was then homogenized in a Virtis 45.

To calculate the percentage of humidity of the axial muscle, 1g of the tissue was taken and dried at 70°C for 72 hours. The homogenized samples were kept at -20°C in glass flasks which were previously decontaminated with a chromic-acetone-hexane mixture (pesticide degree) until further chemical analysis. The extraction of chlorinated hydrocarbons was carried out according to the technique described by Young *et al.* (1976).

The chlorinated hydrocarbons were separated in a Varian 3700 gas chromatograph with a Ni⁶³ electron capture detector, and a data processing system (Varian CDS-111) equipped with two silica capillary columns, the first DB-5 and the second DB-17, was used to confirm the separations. Both columns were 30m long, with an internal diameter of 0.25mm. The samples were separated simultaneously in both columns, using only one injector, under the following operation conditions:

	DB-5	DB-17
Inyector temperature	200°C	200°C
Detector temperature	290°C	290°C

Column temperature program:

- Initial temperature: 150°C (for 1 min).
- Program ratio: 5°C/min (for 10 min) and 2°C/min (for 20 min).
- Final temperature: 240°C.

Nitrogen was used as the transporting gas with a linear velocity of 27cm/s for the DB-5 column and 23cm/s for the DB-17.

As some of the samples contained higher concentrations of pesticides, dilutions were necessary (1:10, 1:100). These were separated in a Varian 3500 gas chromatograph with a Ni⁶³ electron capture detector and a data system (Varian CDS-111), equipped with a high resolution fused silica capillary column (DB-1), 30m long with an internal diameter of 0.25mm. The sample was injected with an automatic sampler (Varian 8035). The chromatography of the sample was carried out under the following conditions:

interno. La inyección de la muestra se hizo mediante un muestreador automático (Varian 8035). La cromatografía de la muestra se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones de operación:

Temperatura del inyector:

- Temperatura inicial: 68°C.
- Razón del programa: 300°C/min.
- Temperatura final: 238°C.

Temperatura de la columna:

- Temperatura inicial: 70°C.
- Razón del programa: 5°C/min.
- Temperatura final: 200°C.

Temperatura del inyector:

- Temperatura inicial: 300°C.

Como gas transportador se empleó helio a una velocidad lineal de 40cm/s.

En la Tabla II se muestran los hidrocarburos clorados analizados y los límites de detección de los mismos.

La cuantificación de los lípidos se realizó de acuerdo al método de extracción y reparto en la mezcla cloroformo-metanol-agua, propuesto por Bligh y Dyer (1959). Para tal propósito se utilizaron 10g de muestra (músculo axial - agua desionizada). El contenido de lípidos fué calculado con la siguiente expresión:

$$\text{Lípidos totales} = (\text{PLA} \times \text{VFC})/\text{VA}$$

en donde:

PLA = peso del lípido en la alícuota,
VFC = volumen de la fase cloroformo,
VA = volumen de la alícuota.

RESULTADOS

Las concentraciones de los hidrocarburos clorados medidos en *Tilapia sp* y *C. carpio* colectadas en el Valle de Mexicali se describen en las Tablas III, IV, V y VI, respectivamente. Las concentraciones son expresadas en peso seco.

Injector temperature:

- Initial temperature: 68°C.
- Program ratio: 300°C/min.
- Final temperature: 238°C.

Column temperature:

- Initial temperature: 70°C.
- Program ratio: 5°C/min.
- Final temperature: 200°C.

Detector temperature:

- Initial temperature: 300°C.

Helium was used as the transporting gas with a linear velocity of 40cm/s.

The chlorinated hydrocarbons analysed and their detection limits are shown in Table II.

The quantification of the lipids was carried out according to the method of extraction and distribution in a chloroform-methanol-water mixture, proposed by Bligh and Dyer (1959). For this purpose, 10g of the sample (axial muscle - deionized water) were used. The lipid content was calculated with the following expression:

$$\text{Total lipids} = (\text{PLA} \times \text{VFC})/\text{VA}$$

in which:

PLA = weight of the lipid in the aliquot,
VFC = volume of the chloroform phase,
VA = volume of the aliquot.

RESULTS

The concentrations of chlorinated hydrocarbons measured in *Tilapia sp.* and *C. carpio* collected from the Mexicali Valley, are described in Tables III, IV, V and VI respectively. The concentrations are given in dry weight.

Of the organochlorine pesticides possible to identify in this study, only DDT and its metabolites o,p', p,p'-DDE, DDD, DDT and DDMU were regularly found at all the sites. Only at Canal Revolución (station 15) was trans-nonachlor identified, sampled in February 1986.

Tabla II. Hidrocarburos clorados analizados y su límite de detección (ng/g de peso seco).
Table II. Chlorinated hydrocarbons analysed and their detection limits (ng/g dry weight).

Compuesto	Límite de detección	Compuesto	Límite de detección
Aldrin	3.77	Oxiclordano	5.19
Endrin	7.11	Trans-clordano	4.66
DDT, o,p'	10.00	Cis-clordano	5.34
DDT, p,p'	8.53	Clordeno, Alfa	6.76
DDD, o,p'	6.52	Clordeno, Gama	12.25
DDD, p,p'	6.27	Trans-nonaclor	5.05
DDE, o,p'	8.97	Cis-nonaclor	5.15
DDE, p,p'	40.13	Metoxicloro	31.12
DDMU, p,p'	19.60	Heptacloro	4.90
DDMS, p,p'	29.40	Heptacloro-epóxido	3.43
HCB, Alfa	23.32	Cloropirifos	15.93
HCB, Beta	6.86	BPC 1248	58.80
HCB, Gama (Lindano)	3.19	BPC 1254	58.80
HCB, Delta	4.31	BPC 1260	58.80

De los pesticidas organoclorados posibles de identificar en este estudio (Tabla II), únicamente el DDT y sus metabolitos o,p', p,p'-DDE, DDD, DDT y DDMU se encontraron regularmente en todas las localidades. Solamente en el Canal Revolución (estación 15), muestreada en febrero de 1986 se identificó el compuesto trans-nonaclor.

En *Tilapia sp.*, durante agosto de 1985 el intervalo de concentración de ΣDDT mostró una razón máximo/mínimo de 2.75, con un nivel máximo de 278.5ng/g, detectado en la Laguna México (estación 5) y el mínimo de 101.1ng/g se localizó en el Ejido Oviedo Mota (estación 19). Se obtuvo una concentración media de 150.6ng/g (Tabla III). Los resultados de febrero de 1986 presentan un valor máximo de ΣDDT de 1271.5ng/g, en la localidad Coahuila (estación 14) y un mínimo de

In *Tilapia sp.*, during August, 1985 the range of ΣDDT concentration showed a maximum/minimum ratio of 2.75, with a maximum level of 278.5ng/g detected at Laguna México (station 5) and a minimum of 101.1ng/g found at Ejido Oviedo Mota (station 19). A mean concentration of 150.6ng/g was obtained (Table III). The February 1986 results present a maximum value of ΣDDT of 1271.5ng/g at the Coahuila site (station 14) and a minimum of 112.4ng/g at Campo Mosqueda (station 17), with a maximum/minimum ratio of 11.31. An average value of 302.5ng/g was obtained (Table IV).

With regard to *C. carpio*, in August 1985 the DDT concentration registered a maximum/minimum ratio of 30.6. The maximum value of 4147.5ng/g was recorded at Ejido Oviedo Mota (station 19). This value

Tabla III. Características biométricas y niveles de hidrocarburos clorados (ng/g de peso seco) detectados en *Tilapia sp.* del Valle de Mexicali durante agosto de 1985.**Table III.** Biometric characteristics and levels of chlorinated hydrocarbons (ng/g dry weight) detected in *Tilapia sp.* from the Mexicali Valley during August 1985.

Estación No.	Peso Total (g)	Talla (cm)	Humedad (%)	Lípidos (%)	p,p' DDT	o,p' DDT	p,p' DDE	o,p' DDE	p,p' DDD	o,p' DDD	p,p' DDMU	Σ_{DDT}	Trans-nona-clor
3	117.0	18.0	79.0	0.9	ND	ND	126.6	ND	ND	ND	ND	126.6	ND
4	24.0	15.0	75.0	0.9	ND	ND	112.1	ND	ND	ND	ND	112.1	ND
5	332.0	24.0	77.0	2.0	ND	ND	247.1	ND	27.5	ND	ND	278.5	ND
8	65.0	14.0	81.0	1.0	ND	ND	182.3	ND	24.2	ND	ND	206.5	ND
9	210.0	22.0	80.0	0.9	ND	ND	143.8	ND	ND	ND	ND	143.8	ND
10	136.0	18.0	73.0	2.0	ND	ND	143.4	ND	ND	ND	ND	143.4	ND
12	76.0	15.0	78.0	1.0	ND	ND	213.0	ND	ND	ND	ND	213.0	ND
13	196.0	21.0	82.0	0.9	ND	ND	150.6	ND	16.8	ND	ND	167.4	ND
15	351.0	24.0	78.0	0.4	ND	ND	166.4	ND	ND	ND	ND	166.4	ND
17	69.0	15.0	79.0	0.2	ND	ND	236.6	ND	13.7	ND	ND	248.3	ND
19	67.0	15.0	79.0	0.9	ND	ND	101.1	ND	ND	ND	ND	101.1	ND
\bar{x}	149.0	18.0	78.0	1.0								150.6	
DE	111.0	3.8	2.6	0.6									
CV	74%	21%	3%	55%									

Estaciones no colectadas: 1, 2, 14, 16, 18, 20.

ND = no detectado.

112.4ng/g en el Campo Mosqueda (estación 17), con una razón máximo/mínimo de 11.31. Obteniéndose un valor promedio de 302.5ng/g (Tabla IV).

En relación a *C. carpio*, en agosto de 1985 la concentración de DDT registró una razón máximo/mínimo de 30.6, el valor máximo de 4147.5ng/g, se presentó en el Ejido Oviedo Mota (estación 19), destacándose este valor como la concentración máxima encontrada en todas las localidades de colecta. El valor mí-

was the maximum concentration found at all the sampling stations. The minimum value (135.5ng/g) was detected at Canal Nuevo Delta (station 11). The mean value recorded was of 913.4ng/g (Table V). During February 1986, the Σ_{DDT} in *C. carpio* recorded a maximum/minimum ratio of 75.7. The maximum value of 1916.1ng/g was found at Colonia Carranza (station 15) and the minimum of 25.3ng/g was located at km 80 (station 18). The mean value calculated was of 562.6ng/g (Table VI).

Tabla IV. Características biométricas y niveles de hidrocarburos clorados (ng/g de peso seco) detectados en *Tilapia sp.* del Valle de Mexicali durante febrero de 1986.**Table IV.** Biometric characteristics and levels of chlorinated hydrocarbons (ng/g dry weight) detected in *Tilapia sp.* from the Mexicali Valley during February 1986.

Estación No.	Peso Total (g)	Talla (cm)	Humedad (%)	Lípidos (%)	p,p' DDT	o,p' DDT	p,p' DDE	o,p' DDE	p,p' DDD	o,p' DDD	p,p' DDMU	ΣDDT	Transnona-clor
1	384.0	25.0	79.0	1.5	7.8	ND	98.0	ND	20.3	ND	ND	126.1	ND
2	277.0	24.0	78.0	2.1	21.1	6.1	695.7	ND	29.9	ND	ND	761.6	ND
3	247.0	22.0	79.0	0.8	ND	ND	195.5	ND	18.4	ND	ND	213.9	ND
4	222.0	23.0	81.0	0.3	ND	ND	128.8	ND	ND	ND	ND	128.8	ND
5	289.0	25.0	80.0	0.7	ND	ND	286.8	ND	14.6	ND	ND	301.4	ND
8	128.0	18.0	78.0	0.4	ND	ND	229.3	ND	12.7	ND	ND	242.0	ND
9	254.0	23.0	80.0	0.1	ND	ND	205.9	ND	35.0	ND	ND	240.8	ND
13	254.0	23.0	79.0	1.3	38.3	ND	144.8	ND	39.1	ND	ND	222.2	ND
14	207.0	22.0	80.0	0.3	19.6	ND	1219.5	ND	32.4	ND	ND	1271.5	ND
15	248.0	22.0	80.0	0.4	ND	ND	121.7	ND	ND	ND	ND	121.7	ND
16	84.0	16.0	79.0	0.5	14.3	ND	142.5	ND	ND	ND	ND	156.8	ND
17	154.0	20.0	81.0	0.2	ND	ND	112.4	ND	ND	ND	ND	112.4	ND
18	480.0	28.0	79.0	0.5	ND	ND	144.0	ND	ND	ND	ND	144.0	ND
20	350.0	24.0	81.0	1.0	16.6	ND	175.3	ND	ND	ND	ND	191.9	ND
\bar{x}	256.0	23.0	80.0	0.7								302.5	
DE	103.0	3.0	1.0	0.6									
CV	40%	13%	1%	79%									

Estaciones no colectadas: 10, 12, 19.

ND = No detectado.

nimo (135.5ng/g), fue detectado en el Canal Nuevo Delta (estación 11). El valor medio registrado fué de 913.4ng/g (Tabla V). Durante febrero de 1986, el ΣDDT en *C. carpio*

The results of the variance analysis do not indicate a variation of the ΣDDT concentrations in *Tilapia sp.* and *C. carpio* due to the time of collection ($p > 0.05$).

Tabla V. Características biométricas y niveles de hidrocarburos clorados (ng/g de peso seco) detectados en *C. carpio* del Valle de Mexicali durante agosto de 1985.**Table V.** Biometric characteristics and levels of chlorinated hydrocarbons (ng/g dry weight) detected in *C. carpio* from the Mexicali Valley during August 1985.

Estación No.	Peso Total (g)	Talla (cm)	Humedad (%)	Lípidos (%)	p,p' DDT	o,p' DDT	p,p' DDE	o,p' DDE	p,p' DDD	o,p' DDD	p,p' DDMU	Σ_{DDT}	Transnona clor
3	352.0	26.0	80.0	0.5	ND	ND	403.3	ND	5.4	ND	ND	408.7	ND
6	427.0	28.0	80.0	1.2	ND	ND	731.7	9.5	4.5	ND	10.7	756.3	ND
7	188.0	21.0	85.0	1.3	ND	ND	312.7	ND	5.1	ND	ND	317.8	ND
8	51.0	14.0	79.0	0.8	ND	ND	1138.6	ND	ND	ND	ND	1138.6	ND
10	390.0	26.0	79.0	1.0	ND	ND	345.6	5.8	12.9	ND	20.1	365.7	ND
11	414.0	29.0	78.0	2.6	ND	ND	135.5	ND	ND	ND	ND	135.5	ND
12	252.0	23.0	78.0	2.2	2.6	3.1	571.4	8.5	5.9	ND	11.4	602.8	ND
13	394.0	26.0	77.0	2.5	ND	ND	855.3	7.7	17.7	ND	21.0	901.7	ND
15	169.0	23.0	80.0	0.8	ND	ND	597.9	ND	8.5	ND	ND	606.4	ND
17	70.0	17.0	86.0	0.3	ND	ND	992.8	ND	14.6	ND	ND	1007.4	ND
18	63.0	16.0	79.0	1.3	5.6	ND	553.8	ND	6.0	ND	6.7	572.1	ND
19	91.0	17.0	79.0	1.2	ND	ND	3687.4	94.3	84.9	9.0	271.9	4147.5	ND
\bar{x}	238.0	22.0	80.0	1.3								913.4	
DE	151.0	5.1	2.7	0.8									
CV	63%	23%	3.4%	57%									

Estaciones no colectadas: 1, 2, 9, 14.

ND = No detectado.

registró una razón máximo/mínimo de 75.7. El valor máximo de 1916.1ng/g, se encontró en la Colonia Carranza (estación 15) y el mínimo de 25.3ng/g, se localizó en el km 80 (estación 18). El valor medio calculado fue de 562.6ng/g (Tabla VI).

Los resultados del análisis de varianza no indican una variación de las concentraciones de Σ_{DDT} en *Tilapia sp.* y *C. carpio* debido al tiempo de colecta ($p > 0.05$).

A variation in the concentrations was detected in *Tilapia sp.* due to the sampling site ($p < 0.3$). The results of the Student-Newman-Keuls (SNK) *a posteriori* classification are shown in Table VII and in Figures 2 and 3. It can be seen in a general way that the least contaminated sites are mainly distributed in the northeastern and southern regions (stations 1, 3, 4, 10, 15, 16, 18 and 19), with a range of concentration of 101.1 to 170.2ng/g. Stations 5, 8, 9, 12, 13, 17 and 20,

Tabla VI. Características biométricas y niveles de hidrocarburos clorados (ng/g de peso seco) detectados en *C. carpio* del Valle de Mexicali durante febrero de 1986.**Table VI.** Biometric characteristics and levels of chlorinated hydrocarbons (ng/g dry weight) detected in *C. carpio* from the Mexicali Valley during February 1986.

Estación No.	Peso Total (g)	Talla (cm)	Humedad (%)	Lípidos (%)	p,p DDT	o,p' DDT	p,p' DDE	o,p' DDE	p,p' DDD	o,p' DDD	p,p' DDMU	ΣDDT	Transnona-clor
1	229.0	23.0	79.0	1.6	ND	ND	187.0	ND	ND	ND	ND	187.0	ND
2	233.0	23.0	80.0	1.0	ND	ND	661.3	ND	ND	ND	10.7	672.0	ND
3	213.0	21.0	79.0	1.6	ND	ND	215.6	ND	ND	ND	ND	215.6	ND
7	118.0	20.0	83.0	0.9	5.4	ND	450.1	ND	ND	ND	ND	455.5	ND
8	168.0	20.0	79.0	0.9	3.0	ND	301.9	ND	5.6	ND	ND	310.6	ND
9	228.0	21.0	80.0	1.4	ND	ND	281.3	ND	10.3	ND	ND	291.6	ND
13	260.0	23.0	81.0	1.0	4.5	ND	768.3	9.6	21.9	ND	12.5	816.8	ND
14	106.0	18.0	80.0	0.5	ND	ND	516.6	15.1	21.7	ND	11.2	564.5	ND
15	333.0	25.0	80.0	1.0	ND	6.0	1723.4	21.1	57.5	8.5	99.5	1916.1	6.8
18	205.0	22.0	82.0	0.7	ND	ND	25.3	ND	ND	ND	ND	25.3	ND
19	109.0	17.0	78.0	1.1	ND	ND	726.6	ND	6.9	ND	ND	733.5	ND
\bar{x}	200.0	21.2	80.0	1.08								562.6	
DE	70.0	2.4	1.4	0.32									
CV	35%	11%	1.8%	29%									

Estaciones no colectadas: 6, 10, 11, 12, 17.

ND = No detectado.

En *Tilapia sp.* se detectó una variación en las concentraciones debido al lugar de muestreo ($p < 0.3$). Los resultados de la clasificación *a posteriori* Student-Newman-Keuls (SNK) se muestran en la Tabla VII y en las Figuras 2 y 3. Mostrándose de una manera general que las localidades menos contaminadas se distribuyen principalmente en la región noreste y sur (estaciones 1, 3, 4, 10, 15, 16, 18 y 19), con un intervalo de concentraciones de 101.1 a 170.2ng/g. Las estaciones 5, 8, 9, 12, 13, 17 y 20, distribuidas en las regiones norte,

distributed in the northern, central and southern regions, correspond to a medium level of ΣDDT concentrations with a range of 186.4 to 289.9ng/g. Finally, the sites presenting the highest concentrations are stations 2 and 14, located in the northeastern and central regions respectively, with a range of ΣDDT concentration of 761.6 to 1271.5ng/g (Fig. 2).

The SNK classification analysis for *C. carpio* shows a general pattern of lower concentrations in the northern region and

Tabla VII. Variación Geográfica de ΣDDT en peces del distrito de riego No. 14 del Valle de Mexicali. Las medias ($n=2$) de la columna vertical que tengan letras iguales no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Table VII. Geographical variation of ΣDDT in fishes from the Mexicali Valley No. 14 irrigation district. The means ($n=2$) from the vertical column that have the same letters are not significantly different ($p > 0.05$).

<i>Tilapia sp.</i>		<i>C. carpio</i>	
Estación No.	ΣDDT (ng/g P.S.)	Estación No.	ΣDDT (ng/g P.S.)
1	126.12 * a (1)	1	187.04 * a (1)
2	761.58 * e (1)	2	671.99 * ab (1)
3	170.23 abc	3	312.13 a
4	120.45 a	6	756.32 * ab (1)
5	289.94 d	7	386.62 * a
8	224.24 cd	8	724.57 ab
9	192.31 bc	9	291.64 a (1)
10	143.39 ab (1)	10	365.71 a (1)
12	213.03 * cd (1)	11	135.53 * a (1)
13	194.80 bc	12	602.81 * ab (1)
14	1271.52 e (1)	13	859.23 b
15	144.03 * ab	14	564.47 ab (1)
16	156.82 ab (1)	15	1261.23 * b
17	180.36 bc	17	1007.42 b (1)
18	143.98 * ab (1)	18	298.66 * a
19	101.06 a (1)	19	2440.50 * b
20	191.94 bc (1)		

* Colectados en canales de riego.

(1) $n=1$.

central y sur corresponden a un nivel intermedio de concentraciones de ΣDDT con un intervalo de 180.4 a 289.9ng/g. Finalmente las localidades que presentan las mayores concentraciones son las estaciones 2 y 14 localizadas en la región noreste y central respectivamente y con un intervalo de concentración de 761.6 a 1271.5ng/g, de ΣDDT (Fig. 2).

higher in the southern part of the Valley. The least contaminated sites are found in the northern region (stations 1 and 3), in the central region (stations 7, 9, 10 and 11) and in the south (station 18), with a range of ΣDDT concentrations of 135.5 to 386.6ng/g. Stations 2, 6, 8, 12 and 14 distributed in the northern and central regions of the Valley, correspond

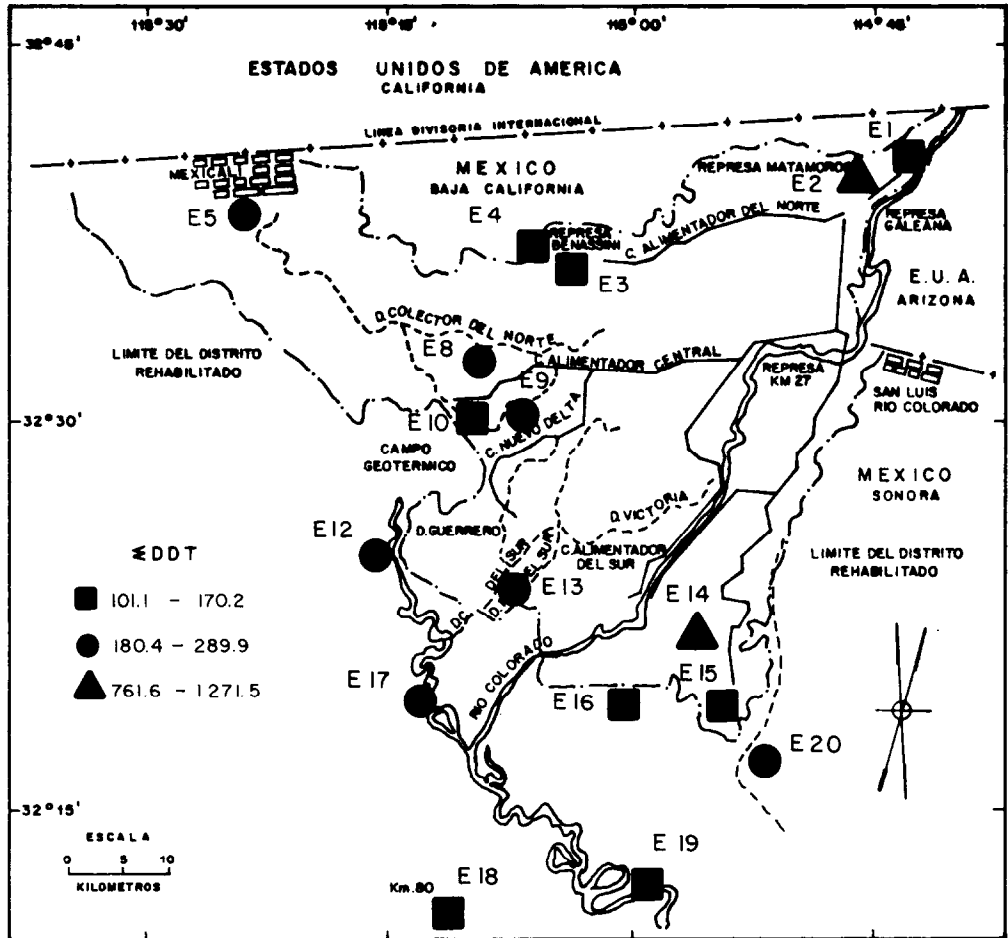


Figura 2. Distribución geográfica de ΣDDT (ng/g de peso seco) en *Tilapia sp.* en el Valle de Mexicali, Baja California.

Figure 2. Geographical distribution of ΣDDT (ng/g dry weight) in *Tilapia sp.* in the Mexicali Valley, Baja California.

El análisis de clasificación SNK para *C. carpio* muestra de manera general un patrón de concentraciones menores en la región norte y mayores en la parte sur del Valle. Las localidades menos contaminadas se presentan en la región norte (estaciones 1 y 3), en la región central (estaciones 7, 9, 10 y 11) y sur (estación 18), con un intervalo de concentraciones de ΣDDT de 135.5 a 386.6ng/g. Las estaciones 2, 6, 8, 12 y 14 distribuidas en la región norte y central del Valle corresponden a concentraciones intermedias con un intervalo de ΣDDT de 564.4 a 756.3ng/g, mientras que las localidades del sur del Valle (estaciones 13,

to medium concentrations with a range of ΣDDT of 564.4 to 756.3ng/g, while the sites in the southern part of the Valley (stations 13, 15, 17 and 19) showed the highest concentrations with a range of 859.2 to 2440.5ng/g (Fig. 3).

In general, p,p'-DDE was the metabolite detected with highest concentration in both species analysed in this study.

In *Tilapia sp.*, the p,p'-DDT/ ΣDDT ratio varied from 88 to 100% during August 1985 and from 65 to 100% in February 1986. In *C.*

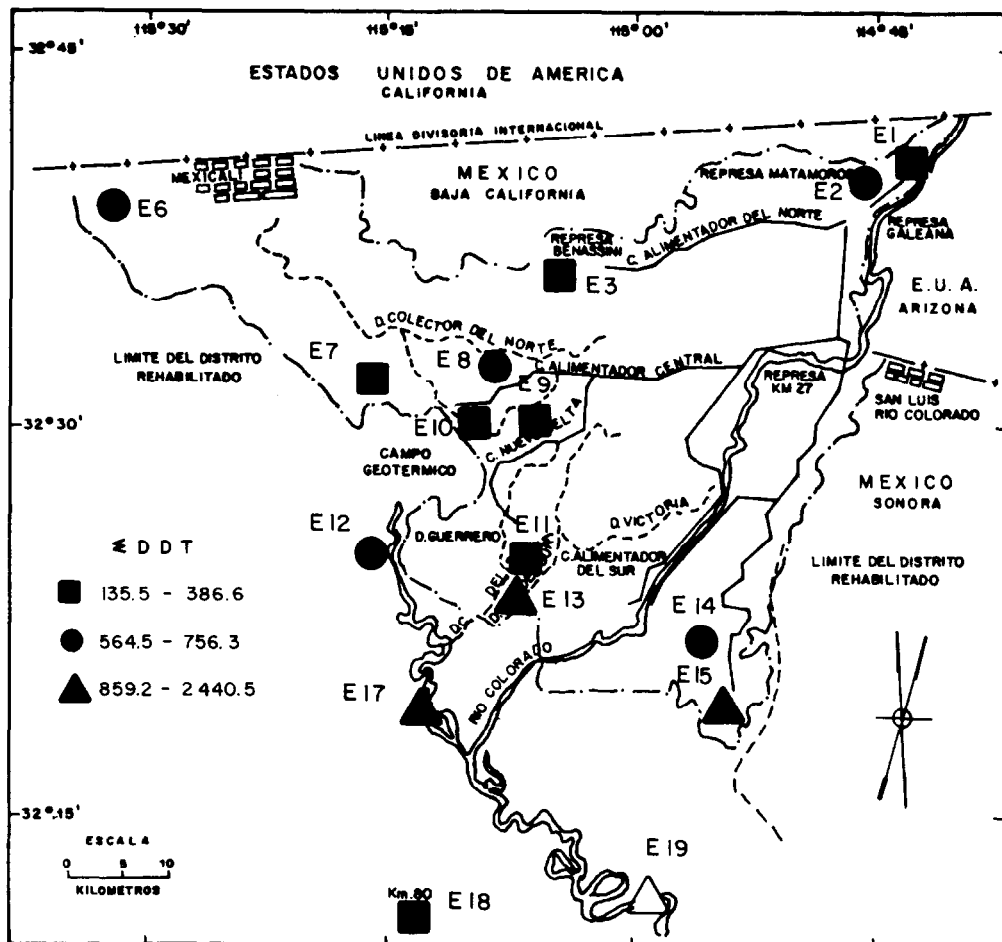


Figura 3. Distribución geográfica de ΣDDT (ng/g de peso seco) en *C. carpio* en el Valle de Mexicali, Baja California.

Figure 3. Geographical distribution of ΣDDT (ng/g dry weight) in *C. carpio* in the Mexicali Valley, Baja California.

15, 17 y 19), mostraron las mayores concentraciones con un intervalo de 859.2 a 2440.5ng/g (Fig. 3).

En general el p,p'-DDE fué el metabolito detectado con mayor concentración en ambas especies analizadas en este estudio.

En *Tilapia sp.* la razón p,p'-DDT/ ΣDDT varió de 88 a 100% durante agosto de 1985 y de 65 a 100% en febrero de 1986. En *C. carpio* esta razón varió entre 89 y 100% y de 90 a 100% para el primer y segundo muestreo respectivamente.

carpio this ratio varied from 89 to 100% and from 90 to 100% for the first and second samplings respectively.

The biometric characteristics of the organisms collected during both samplings and for all the Mexicali Valley stations, are presented in Tables III, IV, V and VI. For both *Tilapia sp.* and *C. carpio*, the total weight of each fish and the percentage of lipids were not significantly different between both samplings ($p > 0.05$). However, the variation coefficient (VC) shows an important regional variation in the characteristics. The percentage of humidi-

Las características biométricas de los organismos colectados en ambos muestreos y para todas las localidades del Valle de Mexicali están representados en las Tablas III, IV, V y VI. Tanto para *Tilapia sp.* como para *C. carpio*, el peso total de cada pez y el porcentaje de lípidos no fueron significativamente diferentes entre ambos muestreos ($p > 0.05$). Sin embargo, el coeficiente de variación (CV) muestra una variación regional importante en las características. El porcentaje de humedad fue el menos variable con un CV igual a 3.0 y 1.0 para *Tilapia sp.* y de 3.4 y 1.8 en *C. carpio* en el primer y segundo muestreo respectivamente.

Las características biométricas (talla, peso total) así como el porcentaje de lípidos no mostraron correlación significativa ($p > 0.05$) con las concentraciones de ΣDDT tanto para *Tilapia sp.* y *C. carpio* en ambos muestreos.

DISCUSION

En los pesticidas clorados examinados (Tabla II), en *Tilapia sp.* y *C. carpio* principalmente se detectaron el DDT y sus metabolitos. Las razones de que no se hayan detectado otros compuestos organoclorados posiblemente se deba a que éstos no se encontraban a niveles biodisponibles en la zona de estudio. Antecedentes señalan que la mayoría de los compuestos organoclorados examinados en este estudio se aplicaron alguna vez en esta región agrícola; algunos fueron aplicados en mayor cantidad que otros, tal es el caso del DDT (Miranda-Meneses, 1982). Dado a que estos compuestos poseen una persistencia diferencial en el medio ambiente (Nash and Woolson, 1967; Willis y McDowell, 1982), es posible que ciertos pesticidas clorados desaparecieran o bien alcanzaran concentraciones tan pequeñas que mediante el procedimiento analítico empleado no pudieron ser detectados.

Una explicación a la presencia de DDT y sus metabolitos en todo el Valle de Mexicali, está relacionado a la cantidad, frecuencia y extensión de aplicación de este tóxico. Otra posibilidad, quizá se deba a su alta persisten-

ty was the least variable with a VC the same as 3.0 and 1.0 for *Tilapia sp.* and 3.4 and 1.8 for *C. carpio* in the first and second samplings respectively.

The biometric characteristics (size, total weight) as well as the percentage of lipids did not show a significant correlation ($p > 0.05$) with the ΣDDT concentrations for both *Tilapia sp.* and *C. carpio* in both samplings.

DISCUSSION

Of the chlorinated pesticides examined (Table II), mainly DDT and its metabolites were detected in *Tilapia sp.* and *C. carpio*. The reason other organochlorine compounds were not detected could possibly be due to the fact that they were not found in bioavailable levels in the study area. Antecedents indicate that most of the organochlorine compounds examined in this study have been used at some time in this agricultural region; some were applied in greater quantities than others, which is the case of DDT (Miranda-Meneses, 1982). Given that these compounds have a differential persistence in the environment (Nash and Woolson, 1967; Willis and McDowell, 1982), it is possible that certain chlorinated pesticides disappeared or reached such small concentrations that they could not be detected by means of the analytical process used.

An explanation for the presence of DDT and its metabolites throughout the Mexicali Valley is related to the quantity, frequency and extent of application of this toxicant. It may also be due to its persistence in the environment which some calculate to be more than 20 years (Nash and Woolson, 1967) and to its high lipid/water partition coefficient which makes it easy to bioaccumulate in the biota fat.

Trans-nonachlor was only found in one sample of *C. carpio* (6.8ng/g, a slightly higher level than the detection limit), collected in the southern part of the Valley (Table VI). This compound is a product of the synthesis of the technical chlordane (Menzie, 1974) and one of the most persistent in the environment (Schmitt *et al.*, 1985). The presence of this

cia en el medio ambiente que algunos la calculan en más de veinte años (Nash y Woolson, 1967), y finalmente a su alto coeficiente de partición lípido/agua que lo hace fácilmente bioacumulable en reservas de grasa de la biota (Addison, 1976; Bryan, 1979).

El trans-nonaclor únicamente se encontró en una muestra de *C. carpio* (6.8ng/g, nivel ligeramente superior al límite de detección), colectada en la parte sur del Valle (Tabla VI). Este compuesto es un producto de la síntesis del clordano técnico (Menzie, 1974) y uno de los más persistentes en el medio ambiente (Schmitt *et al.*, 1985). La presencia de este compuesto probablemente se deba a la aplicación pretérita del clordano en el Valle de Mexicali mencionada por Miranda-Meneses (1982).

Gutiérrez-Galindo *et al.* (1988), utilizando a la almeja *Corbicula fluminea* como bioindicador, encontró trans-nonaclor (4.0 a 16.5ng/g peso seco) entre el 30 y el 40% de las localidades muestreadas en su estudio realizado en el Valle de Mexicali. Sus concentraciones de trans-nonaclor (16.5ng/g) detectadas en la región sur del Valle de Mexicali, coinciden con la observada en este estudio en la Colonia Zacatecas. Las diferencias en los resultados de ambas investigaciones pueden estar relacionadas con las diferencias biológicas de los organismos empleados en los distintos estudios.

Las concentraciones de ΣDDT detectadas en *Tilapia sp.*, exceptuando dos localidades de concentraciones relativamente altas (estaciones 2 y 14), muestra niveles usualmente bajos y una distribución geográfica no bien definida. En general las localidades que presentan concentraciones bajas (101.1-170.2ng/g) se distribuyen tanto al norte como al sur del Valle. Las estaciones que presentan niveles intermedios de concentraciones (180.4-289.9ng/g) se localizaron con mayor frecuencia en la región central (Fig. 2, Tabla VII), que corresponde a la zona más intensamente muestreada debida a la abundancia de drenes agrícolas. Otras localidades de concentración media se localizaron específicamente en drenes que reciben gran cantidad de agua del lavado de tierras. Tal es el caso de la estación 20 sobre el Dren

compound is probably due to the past application of chlordane in the Mexicali Valley mentioned by Miranda-Meneses (1982).

Gutiérrez-Galindo *et al.* (1988), using the clam *Corbicula fluminea* as bioindicator, found trans-nonachlor (4.0 to 16.5ng/g dry weight) in around 30 to 40% of the stations sampled in their study carried out in the Mexicali Valley. Their concentrations of trans-nonachlor (16.5ng/g) detected in the southern region of the Mexicali Valley, coincide with those observed in this study for the Colonia Zacatecas. The differences in the results can be related to the biological differences of the organisms used in the different studies.

The concentrations of ΣDDT detected in *Tilapia sp.* show usually low levels and an undefined geographical distribution, except for two sites with relatively high concentrations (stations 2 and 14). In general, the sites which present low concentrations (101.1-170.2ng/g) are distributed in the north as well as south of the Valley. The stations presenting medium concentration levels (180.4-289.9ng/g) are mostly located in the central region (Fig. 2, Table VII), which corresponds to the most intensely sampled zone due to the abundance of agricultural drainage canals. Other sites of mean concentrations are specifically located in drainage canals which receive great quantities of water from agricultural runoff. Such is the case of station 20 over the Dren Welton which carries the waters from Yuma Valley, Arizona, USA, and another at Laguna México (station 5) which receives most of the drainage water from the northern and central regions of the Mexicali Valley. The sites in which the highest concentrations of ΣDDT in *Tilapia sp.* were detected (Canal Alamo, station 2, and Dren Coahuila, station 14), with 761.6 and 1,271.5ng/g respectively, coincide with the places where Guardado-Puentes and Núñez-Esquer (1975) and Gutiérrez-Galindo *et al.* (1988) detected relatively high concentrations of DDT in the clam *C. fluminea*. In their studies, the Coahuila site is considered one of the most contaminated by this toxic substance in the Mexicali Valley.

Welton que acarrea las aguas del Valle de Yuma, Arizona, EUA, y otra en la Laguna México (estación 5) la cual recibe la mayoría del agua de drenaje agrícola de la región norte y central del Valle de Mexicali. Las localidades en donde se detectaron las mayores concentraciones de ΣDDT en *Tilapia sp.* (Canal Alamo, estación 2 y Dren Coahuila, estación 14), con 761.6 y 1,271.5ng/g, respectivamente, coinciden con los lugares en donde Guardado-Puentes y Núñez-Esquer (1975) y Gutiérrez-Galindo *et al.* (1988) detectaron concentraciones relativamente altas de DDT en la almeja *C. fluminea*. Especialmente la localidad Coahuila considerada en sus investigaciones como una de las más contaminadas por este tóxico en el Valle de Mexicali.

La carpa *C. carpio* muestra una distribución más definida con respecto a la tilapia. Con un intervalo de concentraciones bajas (135.5 a 386.6ng/g), distribuido en las muestras colectadas en la región central y norte del Valle. Este intervalo de concentraciones bajas, coincide con los niveles de ΣDDT detectados en muestras de *Tilapia sp.* colectadas en la misma región. Las concentraciones altas (859.2 a 2,440.5ng/g), se presentaron en muestras colectadas en la región sur del Valle. Las localidades con concentraciones medias (564.5 a 756.3ng/g), se distribuyeron heterogéneamente por toda la región (Fig. 3).

Posiblemente las concentraciones de contaminantes medidas en estos organismos dependa de tres factores principales: la biodisponibilidad del tóxico en el medio ambiente, la variabilidad inherente (condición fisiológica, sexualidad, edad) y la variabilidad debida al diseño experimental (tamaño de la muestra), tal como ha sido señalado por Phillips (1980), Boyden y Phillips (1981) y Phillips y Segar (1986). Los valores excepcionales de ΣDDT detectados en *C. carpio* en las estaciones 13, 15, 17 y 19 y en las estaciones 2 y 14 en *Tilapia sp.* pueden ser explicados en función del grado de contribución de la variabilidad inherente a la variabilidad total de las concentraciones de ΣDDT en ambas especies. Con respecto a este factor, cabe señalar que no se realizó un experimento específico tendiente a esclarecer la variabilidad inherente y que únicamente contamos con el coeficiente de correlación entre las variables

The carp *C. carpio* shows a better defined distribution than tilapia, with a range of low concentrations (135.5 to 386.6ng/g), distributed in the samples collected from the central and northern regions of the Valley. This low concentration range, coincides with the levels of ΣDDT detected in samples of *Tilapia sp.* collected from the same region. High concentrations (859.2 to 2,440.5ng/g) were present in samples collected from the southern region of the Valley. The sites with mean concentrations (564.5 to 756.3ng/g) were heterogeneously distributed throughout the region (Fig. 3).

The concentrations of pollutants measured in these organisms possibly depend on three main factors: the bioavailability of the toxicant in the environment, the inherent variability (physiological condition, sexuality, age) and the variability due to the experimental design (size of the sample), as has been indicated by Phillips (1980), Boyden and Phillips (1981) and Phillips and Segar (1986). The exceptional values of ΣDDT detected in *C. carpio* at stations 13, 15, 17 and 19 and in *Tilapia sp.* at stations 2 and 14, can be explained in terms of the degree of contribution by inherent variability to the total variability of the ΣDDT concentrations in both species. With respect to this factor, it should be pointed out that a specific experiment tending to clarify the inherent variability was not carried out and that we only relied on the correlation coefficient between the biometric and physiological variables (weight, size, lipid content) and the concentrations of ΣDDT , that were in general low and non-significant ($p > 0.05$). This is perhaps related to a low contribution by this variation source to the total variation or to the experimental design.

The size of the sample is another factor which could also have contributed to the variability observed in the concentrations of ΣDDT , since there were only two independent replicas for each sampling site, giving rise to high variation coefficients (VC).

In general, the geographical distribution shown by ΣDDT in *C. carpio*, with low concentrations in the north and relatively high levels in the south of the Valley, coincides with that proposed in two previous studies carried out in

biométricas y fisiológicas (peso, talla, contenido de lípidos) y las concentraciones de ΣDDT , que en general fueron bajas y no significativas ($p > 0.05$). Esto quizá puede estar relacionado a una baja contribución de esta fuente de variación a la variación total o bien al diseño experimental.

El tamaño de la muestra es otro factor que posiblemente también contribuyó a la variabilidad observada en las concentraciones de ΣDDT , ya que tan solo se cuenta con dos réplicas independientes por cada localidad de muestreo, lo que da lugar a coeficientes de variación (CV), altas.

En general, la distribución geográfica que muestra el ΣDDT en *C. carpio* con concentraciones bajas al norte y niveles relativamente altos al sur del Valle, coinciden con la propuesta en dos investigaciones precedentes en la misma región utilizando a la almeja *C. fluminea* como bioindicador (Guardado-Puentes y Núñez-Esquer, 1975; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1988). Esto parece indicar que éste es el patrón de distribución geográfico más probable que refleja la biodisponibilidad del tóxico en el Valle de Mexicali. Sin embargo, *Tilapia sp.* muestra una discrepancia importante en este sentido, pues no refleja el mismo patrón geográfico de ΣDDT que *C. carpio*, ya que presenta indistintamente niveles bajos en la parte sur del Valle. Esta diferencia entre ambas especies puede obedecer a varios factores, entre los que destacan los hábitos alimenticios, la regulación metabólica del contaminante e integración temporal y espacial del tóxico. Phillips y Segar (1986) consideran estos factores entre los más importantes. En relación a *Tilapia sp.*, este organismo presentó concentraciones de ΣDDT significativamente menores que *C. carpio*, independientemente del hábitat de colecta.

Con respecto a la variación temporal del ΣDDT , los niveles medidos en ambas especies de peces no presentaron diferencias significativas entre ambos muestreos ($p > 0.05$). Esto posiblemente se deba a que no existe un aporte reciente de este tóxico a la región y a que el DDT es un compuesto muy persistente en el medio ambiente que presenta un proceso de degradación muy lento (20 años) (Alexan-

the same region using the clam *C. fluminea* as bioindicator (Guardado-Puentes and Núñez-Esquer, 1975; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1988). This seems to indicate that this is the most probable geographical distribution pattern which reflects the bioavailability of the toxicant in the Mexicali Valley. However, *Tilapia sp.* shows an important discrepancy as it does not reflect the same ΣDDT geographical pattern as *C. carpio*, since it indistinctly presents low levels in the southern part of the Valley. This difference between both species can obey several factors, among which can be noted feeding habits, metabolic regulation of the pollutant and temporal and spatial integration of the toxic substance. Phillips and Segar (1986) consider these factors to be the most important. With reference to *Tilapia sp.*, this organism presented significantly lower concentrations of ΣDDT than *C. carpio*, regardless of the place of collection.

With respect to the temporal variation of ΣDDT , the levels measured in both species of fish did not present significant differences between both samplings ($p > 0.05$). This can possibly be due to the fact that no recent contribution has been made by this toxic substance to the region and that DDT is a very persistent compound in the environment, presenting a very slow degradation process (20 years) (Alexander, 1981). Phillips (1980) and Satsmadjis and Votsinou-Taliadouri (1983) also indicate that in order to distinguish temporal patterns of this compound in the environment, samplings of a time scale greater than one year are required.

The degradation of DDT in the environment follows two main routes: one is the production of DDE, which has been proposed as a terminal metabolic route (Addison, 1976). The transformation of DDT to DDE results in a compound much more resistant to degradation than the original compound (Juengst and Alexander, 1975). The other route follows the dechlorination of DDT, passing through DDD, towards more polar compounds such as DDMU and DDMS which are easily eliminated (Menzie, 1974). Our results show that p,p'-DDE was the most abundant DDT metabolite in the fishes collected from the Mexicali Valley. The DDE/ ΣDDT ratio (only

der, 1981). Phillips (1980) y Satsmadjis y Votsinou-Taliadouri (1983), señalan además que para distinguir patrones temporales de este compuesto en el ambiente se requiere de muestreos de una escala de tiempo mayor de un año.

La degradación del DDT en el medio ambiente sigue dos rutas principales: una vía es la producción de DDE, la cual se ha propuesto como una ruta metabólica terminal (Addison, 1976). La transformación de DDT a DDE resulta en un compuesto mucho más resistente a la degradación que el compuesto original (Juengst y Alexander, 1975). La otra ruta sigue la declorinación del DDT, pasando por el DDD, hacia compuestos más polares tales como el DDMU y el DDMS los cuales son fácilmente eliminados (Menzie, 1974). Nuestros resultados muestran que el p,p'-DDE fue el metabolito del DDT más abundante en los peces colectados en el Valle de Mexicali. La razón DDE/ Σ DDT (considerando sólo los isómeros p,p') varió en forma global entre el 80 al 100%. Estos resultados coinciden con la proporción de metabolitos reportado para *C. fluminea* por Gutiérrez-Galindo *et al.* (1988) y apoyan la hipótesis de que la mayoría del DDT presente en el Valle de Mexicali se debe a aplicaciones en épocas pasadas.

Los niveles de Σ DDT encontrados en el músculo axial de *C. carpio* (871ng/g peso húmedo) y de *Tilapia sp.* (254ng/g peso húmedo) en esta investigación fueron ligeramente menores comparados con los reportados en estudios realizados en el vecino Valle Imperial en California, EUA. Agee (1984), reporta concentraciones de Σ DDT de 3035.0 y 1,111.0ng/g de peso húmedo en el músculo axial de *C. carpio* colectadas en el Río Alamo y Río Nuevo, respectivamente. Watkins *et al.*, (1985) midieron niveles de Σ DDT de 326.0ng/g de peso húmedo en el músculo axial de *Tilapia sp.* colectada en el Río Nuevo. Clark y Krynitsky (1983) plantean que este DDT presente contiguo al Río Colorado proviene de fuentes locales.

Los niveles de insecticidas organoclorados medidos en el músculo axial de peces de

considering the p,p' isomers) varied between 80 and 100% overall. These results coincide with the proportion of metabolites reported for *C. fluminea* by Gutiérrez-Galindo *et al.* (1988) and support the hypothesis that most of the DDT present in the Mexicali Valley is due to applications in the past.

The levels of Σ DDT found in the axial muscle of *C. carpio* (871ng/g wet weight) and of *Tilapia sp.* (254ng/g wet weight) in this study, were slightly lower than those reported in studies carried out in the neighbouring Imperial Valley in California, USA. Agee (1984), reported concentrations of Σ DDT of 3,035.0 and 1,111.0ng/g wet weight in the axial muscle of *C. carpio* collected from the Alamo River and Nuevo River respectively. Watkins *et al.* (1985) measured levels of Σ DDT of 326.0ng/g wet weight in the axial muscle of *Tilapia sp.* collected from the Nuevo River. Clark and Krynitsky (1983) propose that this DDT found contiguous to the Colorado River comes from local sources.

The levels of organochlorine insecticides measured in the axial muscle of fishes from drainage and irrigation canals in the Mexicali Valley, are found to be of an order of magnitude below the tolerated limits for human consumption (USFDA, 1984) of 5 μ g/g wet tissue for DDT and of 0.3 μ g/g wet tissue for chlordane.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the California Fish and Game Department (State Mussel Watch) and to Michael Martin and David Crane for their interest and assistance in the carrying out of this study. To the Agency for International Development (USAID) of the American Embassy and to the Secretaría de Educación Pública, Mexico (Projects 85-01-0157 and 86-01-0425), for their trust and financial support. To Anabel Arreola for her chemical analyses and to Ramón Moreno for the drawing of the figures.

English translation by Christine Harris.

drenes y canales del Valle de Mexicali, se encuentran alrededor de un orden de magnitud debajo de los límites tolerados para el consumo humano (USFDA, 1984), de 5 μ g/g de tejido húmedo para DDT y de 0.3 μ g/g de peso húmedo para clordano.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Caza y Pesca de California, USA (State Mussel Watch, Department of Fish and Game) y sus investigadores Michael Martin y David Crane por su interés y asistencia en la realización de este estudio. A la Agencia de Desarrollo Internacional (USAID) de la Embajada de Estados Unidos y a la Secretaría de Educación Pública, México (Convenios 85-01-0157 y 86-01-0425) por su confianza y apoyo económico. A Anabel Arreola por sus análisis químicos y a Ramón Moreno por la elaboración de figuras.

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.

Agee, B.A. (1984) Toxic Substances Monitoring Program. California State Water Resources Control Board. Water Monitoring Report, No. 86 - 4WQ.

Alexander, M. (1981) Biodegradation of Chemicals of Environmental Concern. Science, 211(9):132-138.

Bligh, E.G. y Dyer, W.J. (1959) A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. Can. J. Biochem. Physiol., 37(8): 911-917.

Boyden, C.R. y Phillips, D.J.H. (1981) Seasonal Variation and Inherent Variability of Trace Elements in Oysters and their Implications for Indicator Studies. Mar. Ecol. Prog. Ser., 5:29-40.

Bryan, G.W. (1979) Bioaccumulation of Marine Pollutants. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B., 286:483-505.

Clark, D.R. Jr. y Krynitsky, A.J. (1983) DDT: Recent Contamination in New Mexico and Arizona, Environ., 25(5):27-31.

Guardado-Puentes, J. y Núñez-Esquer, D. (1975) Concentración de DDT y sus metabolitos en especies fitoalimentadoras y sedimento en el Valle de Mexicali y el Alto Golfo de California. Tesis Profesional UABC. Apdo. Postal 453, Ensenada, B.C., México, pp. 14-16.

Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G. y Villaescusa-Celaya, J.A. (1988) Hidrocarburos clorados en moluscos del Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. Ciencias Marinas, 14(3):91-113.

Juengst, F.W. y Alexander, M. (1975) Effects of Environmental Conditions on the Degradation of DDT in Model Marine Ecosystems. Mar. Biol., 33:1-6.

Menzie, C.M. (1974) Metabolism of Pesticides. An Update. U.S. Fish and Wildlife Service. Special Scientific Report. Wildlife No. 184, Washington, D.C., 484 pp.

Miranda-Meneses, V.M. (1982) Impacto ecológico por el uso de insecticidas en el Valle de Mexicali, B.C. Tesis Profesional, Escuela Superior de Ciencias Agrícolas, UABC. Ejido Nuevo León, B.C., 98pp.

Nash, R.G. y Woolson, E.A. (1967) Persistence of Chlorinated Hydrocarbon Insecticides in Soils. Science, Vol. 157: 924-927.

Nieblas-Ortiz, E.C. (1986) Reubicación del receptor de desechos agroquímicos y disposición final de los mismos por el método de relleno sanitario en el municipio de Mexicali, B.C. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Biológicas. UABC. Ensenada, B.C., 116pp.

Phillips, D.J.H. (1980) Quantitative Aquatic Biological Indicators. Applied Science Pub., Ltd., London., 488pp.

Phillips, D.J.H. y Segar, D.A. (1986) Use of Bioindicators in Monitoring Conservative Contaminants: Program Design Imperatives. Mar. Pollut. Bull., 17(1):10-17.

- Román, J.C. y Trava, J.L. (1986) Uso de agroquímicos en el Valle de Mexicali. Colegio de la Frontera Norte, Mexicali, B.C., Manuscrito, 13pp.
- S.A.R.H. (1981) Distrito de riego No. 014. Rfo Colorado. Representación General en el Estado de Baja California, México, D.F.
- Satsmadjis, J. y Votsinou-Taliadouri, F.(1983) *Mytilus galloprovincialis* and *Parapenaeus longirostris* as Bioindicators of Heavy Metals and Organochlorine Pollution. Mar. Biol., 76:115-124.
- Schmitt, C.J., Zajicek, J.L. y Ribick, M.A. (1985) National Pesticides Monitoring Program: Residues of Organochlorine Chemicals in Freshwater Fish, 1980-81. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 14:225-260.
- U.S. Food and Drug Administration (USFDA) (1984) Action Levels for Chemical and Poisonous Substances. U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service.
- Watkins, D., Reiner, C., Crane, D., Iman, R., Seto, W. y Baumgartner, S. (1985) Toxic Substances Monitoring Program. 1984 Data Report. Department of Fish and Game, State of California, 75-82pp.
- Willis, G.H. y McDowell, L.L. (1982) Pesticides in Agricultural Runoff and the Effects on Downstream Water Quality. Environ. Toxicol. Chem., 1:267-279.
- Young, D.R., Hessen, T.C. y McDermott, D.J. (1976) An Offshore Biomonitoring System for Chlorinated Hydrocarbons. Mar. Pollut. Bull., 7(8):156-159.