

CONCENTRACIÓN DE DDT Y SUS METABOLITOS EN ESPECIES FILTROALIMENTADORES Y SEDIMENTOS EN EL VALLE DE MEXICALI Y ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

J. GUARDADO PUENTES

Escuela Superior de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, Baja California

ABSTRACT

High concentrations of DDT and its natural breakdown derivatives were found in clams, Veneridae; *Corbicula* sp., in irrigation channels of the Mexicali Valley. These concentrations increase as the sampling area approaches the mouth of the Colorado River. This observation suggests that the agricultural area of the Mexicali Valley is an important source of organochloride pollution for the Northern Gulf of California. This is an area in which many commercially and ecologically important species are found, such as shrimp, *Panaeus* sp., and, at least until very recently, the Totoaba, *Cynoscion macdonaldi*.

The concentrations of organochlorides in the Northern Gulf of California were also obtained for the clam *Chione* sp. and these were found to be somewhat lower. Lower concentrations of DDT and its natural breakdown derivatives were also found in the region of the mouth of the Colorado River. This is probably caused by the particular oceanographic conditions which include currents, turbidity, and sedimentation rates; these might combine to reduce the organochloride levels in the area, but may also carry some pollutants into the Gulf, south of the study area.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio fué realizado en la Unidad de Ciencias Marinas, dependiente de la Universidad Autónoma de Baja California y formó parte de un estudio Oceanológico auspiciado bajo contrato por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Se ha demostrado en experimentos de laboratorio que el DDT afecta el desarrollo, la reproducción y la mortalidad de gran cantidad de especies en concentraciones que existen comunmente en los medios ambientales marinos cercanos a las costas (SCEP, 1973); aún considerando que las interacciones de todos los componentes del ecosistema marino pueden hacer variar notablemente esas concentraciones, se evidente que constituyen un factor importante que puede ser decisivo para el equilibrio ecológico de zonas como la del alto Golfo de California, a donde se tiene la certeza de que se están incorporando cantidades

considerables de insecticidas (Nishikawa y otros, 1971) y que en los últimos años se ha observado un decremento en su potencial biológico-pesquero (Avalos, 1974). Esta situación ha planteado una problemática, la cual solo será posible resolver a través de un estudio interdisciplinario en el cual queden incluidos todos los aspectos de la misma.

Para la primera parte de este estudio se ha tomado como punto de partida la contaminación ambiental causada por los insecticidas organoclorados que son aplicados en los valles agrícolas de Mexicali, Sonora y Sinaloa. Se supone que los medios de transporte de estos contaminantes al área del alto Golfo de California, son principalmente los vientos y las corrientes marinas. Woodwell (1967) demostró que solo el 50% del DDT total que es aplicado por medios aéreos cumple con su misión, quedando adherido el resto a las hojas de las plantas o incorporándose al sustrato, y el 50% restante queda en la atmósfera en forma de vapor o adherido a partículas para ser transportado por el viento hasta ser precipitado por acción de las lluvias. Los insecticidas que quedan sobre el sustrato, son transportados por los escurrimientos de agua hacia los ríos o a los drenes para llegar generalmente al mar, en donde se incorporan a los organismos marinos afectando fundamentalmente las reacciones enzimáticas del metabolismo y por ende su fisiología, redundando evidentemente en el equilibrio ecológico de la zona.

El trabajo se ha dividido en dos zonas, la primera cubre todos los canales del sistema de riego del Valle de Mexicali, el cual presenta una forma irregular teniendo sus límites al norte con la frontera de Estados Unidos de América; al sur con el Golfo de California; al este con el Desierto de Sonora, y al oeste con la Laguna Salada. Hacia la parte noroeste y suroeste se encuentra limitado por dos grandes cadenas montañosas, las cuales pueden constituir una barrera natural para el transporte de estos contaminantes hacia otros lugares (Figura 1). La segunda zona se encuentra localizada en el extremo norte del Golfo de California, en lo que fué la desembocadura del Río Colorado. En esta zona se han distribuido dos estaciones, una situada al extremo sur de la Isla Montague y la otra sobre la costa del norte de San Felipe, B.C. (Figuras 1 y 7).

La figura número uno comprende ambas zonas, y están enmarcadas con la siguiente localización geográfica:

Vértice	Longitud	Latitud
NE	114° 43'	32° 14'
NW	115° 30'	32° 12'
SE	114° 34'	31° 39'
SW	115° 08'	31° 38'

Otra parte de esta investigación la constituyen las concentraciones de hidrocarburos clorados en sedimentos de ambas zonas.

De los insecticidas aplicados en la zona agrícola del Valle de Mexicali, el DDT constituye aproximadamente el 50% debido a su gran eficiencia y a su bajo costo. De 1971 a 1973 se aplicaron en el Valle de Mexicali 900 toneladas de DDT y formulaciones conteniéndolo (Nishikawa y otros, 1971). Los compuestos organoclorados a los cuales pertenece el DDT, son de los insecticidas que causan mayores problemas residuales, ya que su tiempo de degradación a compuestos menos tóxicos es prolongado. De acuerdo con Macek (1969) la persistencia de organoclorados en algunos peces puede observarse en el cuadro siguiente:

Insecticida	Persistencia
DDT	5 meses
DDD	6 meses
Toxafeno	6 meses
Dieldrina	1 mes
Heptacloro	1 mes

Estos valores solo pueden formarse como referencia, ya que fueron determinados bajo condiciones controladas y es lógico suponer que los diversos factores ambientales, pueden hacerlos variar notablemente. La acumulación de DDT en el agua es casi insignificante dado que es prácticamente insoluble en ella (0.1 ppb), en cambio en los animales, la acumulación y su persistencia es mucho mayor, ya que se solubiliza fácilmente en los tejidos grasos en donde puede ser retenido por un tiempo largo aún no determinado (Nishikawa y otros, 1971). La sintomatología que presentan los insectos al intoxicarse con DDT, es la siguiente: primeramente, el animal pasa por una fase de excitación nerviosa y convulsiones violentas, esta fase va disminuyendo en intensidad hasta que se produce la incoordinación motriz, en estas condiciones el insecto queda inmobilizado y así vive dos o más horas hasta que muere (Nishikawa y otros, 1971), evidentemente estos síntomas denotan una clásica intoxicación del sistema nervioso, a nivel bioquímico-fisiológico, lo que ocurre es lo siguiente: los estímulos externos se transmiten de un punto del cuerpo a otro a través de un cambio en la concentración de iones en los nervios, el estímulo es transportado más allá de la neurona o célula receptora en forma de acetil-colina la cual se difunde produciendo la respuesta al estímulo; una vez que la acetil-colina ha provocado la respuesta

correspondiente, ha de ser eliminada para que el receptor pueda restablecerse para un estímulo futuro, o para evitar respuestas incontroladas de un mismo estímulo; la eliminación de la acetil-colina, se efectúa por hidrólisis del compuesto, esta reacción bioquímica está catalizada por la acetil-colinesterasa, en organismos contaminados con DDT esta enzima es inhibida y el órgano receptor no podrá restablecerse, originando convulsiones, parálisis y finalmente la muerte (McGilvery, 1970).

La ATP-asa de las biomembranas es una enzima que proporciona energía para el transporte de iones como Ca^{+} , Na^{+} y K^{+} a través de la membrana celular (Skou, 1965), el DDT inhibe esta enzima bloqueando el transporte iónico y a esto se puede deber el adelgazamiento del cascarón de los huevos de algunas aves y la conducta anormal observada en poblaciones que han sido contaminadas por él. Se ha encontrado que la presencia del DDE (Metabolito del DDT) inhibe a la anhidrasa carbónica (Bitman, Cecil, Fries, 1970) siendo esta enzima indispensable para la depositación del carbonato del calcio en los cascarones de los huevos y para el mantenimiento de un gradiente de pH a través de las membranas celulares (SCEP, 1973).

El DDE induce enzimas oxidasas de funciones mixtas que hidroxilan y producen compuestos solubles en agua, las hormonas esteroides tales como estrógeno, testosterona (Coney, 1967; Peakall, 1970) y tiroxina (Schwartz, 1969) son metabolizadas a mayor velocidad cuando estas enzimas son inducidas; experimentos de laboratorio muestran concentraciones muy bajas de estrógeno en pichones contaminados con DDE (SCEP, 1973).

Así, en base a lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente trabajo es el de contribuir con información al mejor conocimiento del problema que constituye la contaminación por insecticidas en la zona del alto Golfo de California, para que en futuro se tengan elementos suficientes para tratar de evitar que adquiera proporciones ecológicamente desastrosas. También se pretende buscar una relación entre las concentraciones de DDT y las variaciones de abundancia que de hecho han sufrido los recursos pesqueros más importantes de la región (camarón y totoaba). Asimismo, mediante una interpretación de los resultados obtenidos se tratará de establecer un sistema de circulación general de pesticidas en las dos zonas de interés.

MATERIAL Y MÉTODOS

En la zona localizada en el Valle de Mexicali se efectuaron tres muestreos (febrero, julio, y septiembre de 1973), con el fin de apreciar la variación temporal de insecticidas en el ambiente. Para la elaboración de la red de estaciones, dicha zona se dividió en tres partes bien definidas (Figura 1): La primera, localizada al este, representada en su mayor parte por el curso del Río Colorado, sobre el

TABLA 1
Concentraciones promedio de metabolitos del DDT en PPM.

No. estación	opDDE	ppDDE	ppDDD	ppDDT	No. muestrás	Valor mfnimo	Valor promedio	Valor máximo
1	0.10	0.33	0.11	0.02	10	0.18	0.64	1.41
2	0.06	0.38	0.14	0.15	10	0.15	0.73	1.43
3	0.27	0.41	0.37	0.13	10	0.52	1.06	1.66
4	0.23	0.50	0.26	0.08	10	0.57	1.15	2.49
5	0.03	1.25	0.41	0.31	10	0.91	1.99	4.30
6	0.13	2.06	1.05	0.20	10	1.19	3.48	6.13
7	0.35	2.79	2.70	0.17	10	4.48	5.65	8.93
8	0.22	2.44	2.00	1.35	10	5.60	6.29	13.26
9	0.17	3.68	5.26	1.65	10	4.27	14.08	24.77

de cada uno de los metabolitos así como el total de DDT en los organismos colectados. En las almejas de la estación número uno se detectó un promedio de 67.05 ppb de DDT (en este caso, el total de DDT se reporta como la suma de opDDE, ppDDE, ppDDD, opDDD, opDDT, y ppDDT, todos ellos metabolitos del compuesto), asimismo, puede apreciarse que en la estación número dos de la misma zona se encontró un promedio de 145.05 ppb de DDT. La localización de las estaciones en la zona marina en que fueron muestreados los sedimentos se observa en las Figuras 5 y 6, las cuales también muestran las proporciones relativas de cada metabolito del DDT, encontrándose que en la mayor parte de las estaciones el predominante fué el ppDDT.

Los resultados de los análisis en sedimentos se exponen a continuación en el Tabla 2.

DISCUSIONES

Como puede apreciarse en los resultados, las concentraciones de insecticidas en el Valle de Mexicali no se apegan a un patrón definido en su distribución; sin embargo, es notable que las más altas concentraciones de ellos se encuentran hacia la parte sur de la zona agrícola (Figura 1 y cuadro B). Este comportamiento se ha atribuido a varias razones, la primera de ellas a la posición que ocupa cada área muestreada dentro de la zona, pues la intensidad de aplicación de insecticidas es variable

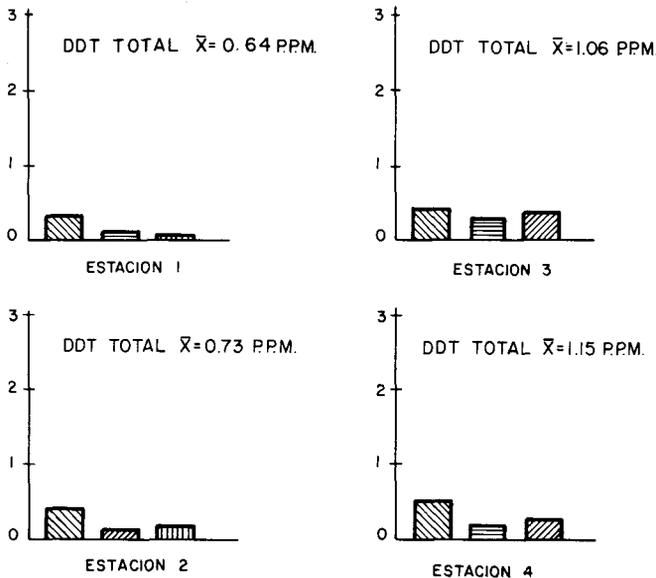


FIGURA 2. Concentración de metabolitos y total de DDT en estaciones 1, 2, 3, y 4 de la zona del Valle de Mexicali.

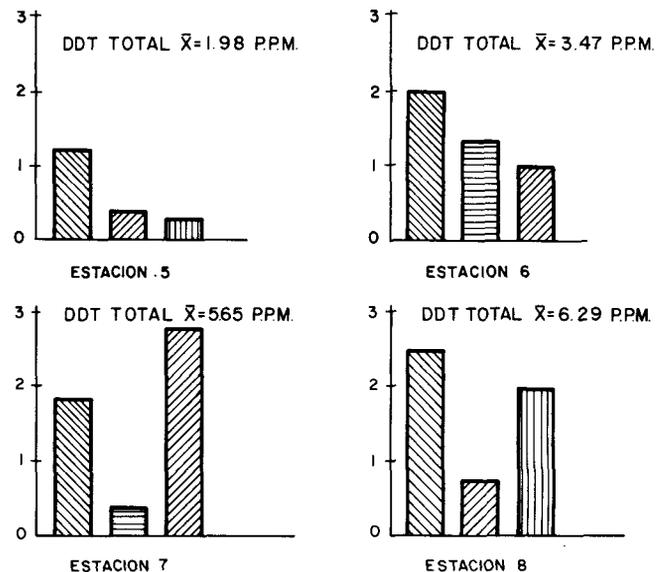


FIGURA 3. Concentración de metabolitos y total de DDT en estaciones 5, 6, 7, y 8 de la zona de Valle de Mexicali.

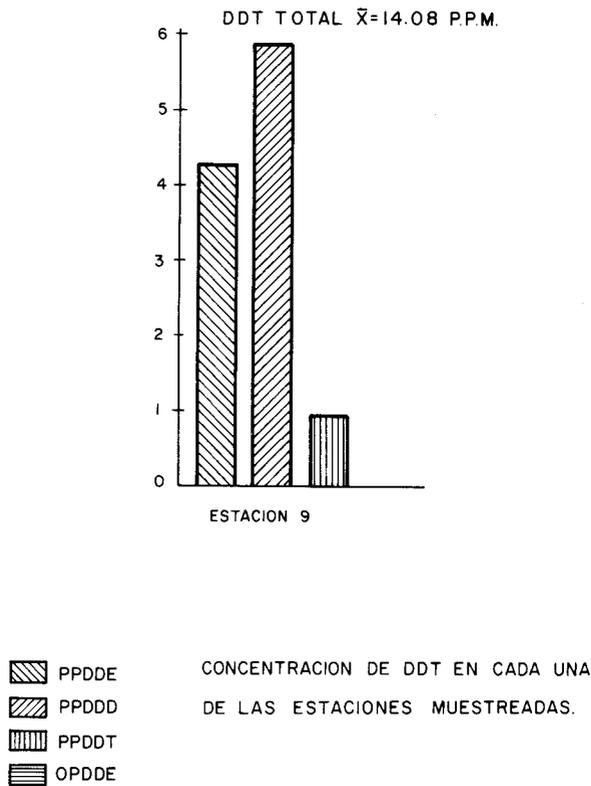


FIGURA 4. Concentración de metabolitos y total de DDT en estación 9 de la zona del Valle de Mexicali.

en cada área. Otra causa de esto pueden ser los vientos dominantes que se observan en la región la mayor parte del año con dirección noroeste-sureste (Alvarez, 1971). En base a lo anteriormente dicho podemos explicarnos las bajas concentraciones que se han encontrado en las áreas que rodean a las Estaciones 1, 2, 3, y 4, los cuales se localizan al noroeste de la zona; al norte de las mencionadas estaciones se extiende una red de montañas que las cubre, aproximadamente con dirección este-oeste, lo

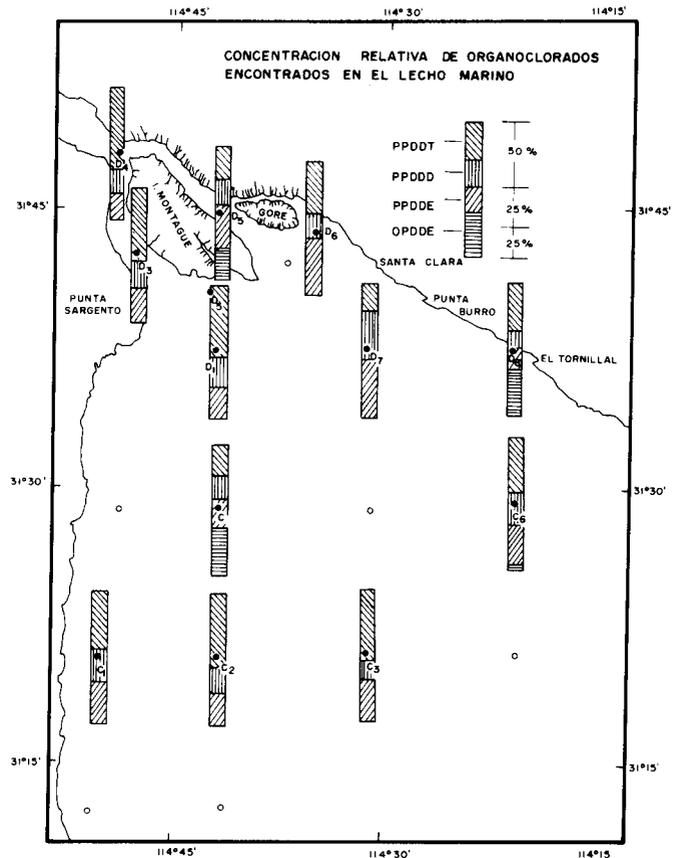


FIGURA 5. Concentración relativa de metabolitos del DDT en el lecho marino del extremo norte del Golfo de California.

cual constituye una barrera natural para el transporte de estos contaminantes hacia ellas. Las áreas que rodean a las Estaciones 5, 6, y 7 se caracterizan por una actividad agrícola de regular intensidad con respecto al área central donde la aplicación de insecticidas es mucho mayor. Las altas concentraciones encontradas en las Estaciones 8 y 9 se han atribuido al acarreo eólico de insecticidas de la parte norte de las mismas en donde se encuentran las mayores áreas de cultivo.

TABLA 2
Concentración de organoclorados en sedimentos del extremo norte del Golfo de California en ppb.

No. muestrá	opDDE	ppDDE	ppDDD	ppDDT	DDT total
1 D1		5.48 25%	4.93 22%	11.74 53%	22.15
2 D3		1.71 25%	1.41 20%	3.82 55%	6.94
3 D4		1.32 20%	1.09 16%	4.23 64%	6.64
4 D5	2.55 25%	3.67 36%	1.45 14%	2.55 25%	10.18
5 D6		2.28 45%	0.91 18%	1.91 37%	5.10
6 D7		49.86 41%	43.07 35%	29.41 24%	122.34
7 D8	5.88 34%	2.50 14%	2.42 14%	6.48 38%	17.28
8 C1		2.70 30%	2.24 25%	3.96 45%	8.90
9 C2		1.90 25%	1.37 18%	4.08 55%	7.35
10 C3		3.02 30%	1.47 14%	5.33 54%	9.83
11 C5	15.4 98%	0.30 2%			15.70
12 C6	3.72 4%	23.75 29%	20.69 25%	32.65 40%	80.81
13 C8	5.85 36%	3.25 20%	3.32 21%	3.61 23%	16.03
14 E3	5.93 54%	1.55 14%	0.98 9%	2.54 23%	11.00
15 E5	8.32 53%	1.45 9%	2.02 13%	3.64 23%	15.43

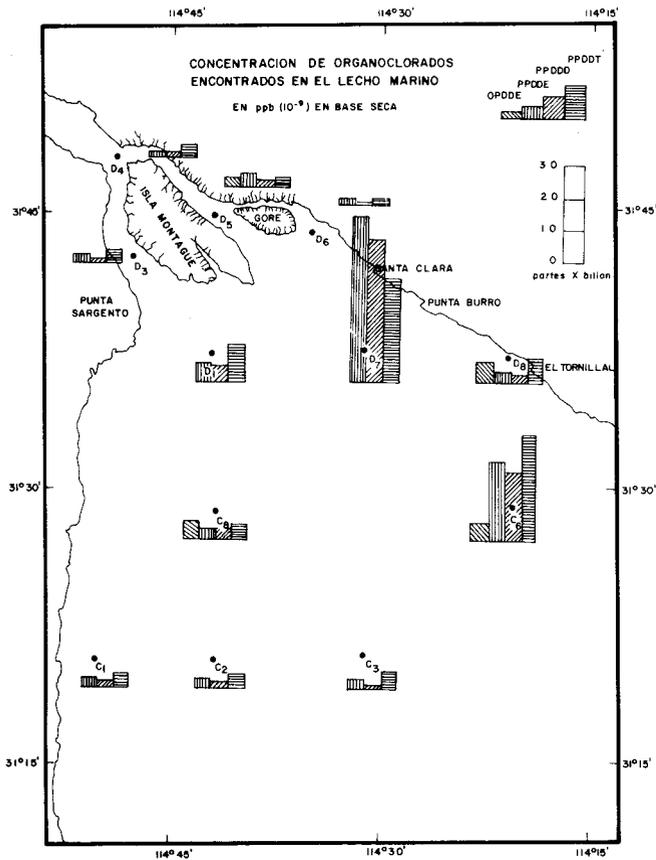


FIGURA 6. Concentración de metabolitos del DDT en el lecho marino del extremo norte del Golfo de California.

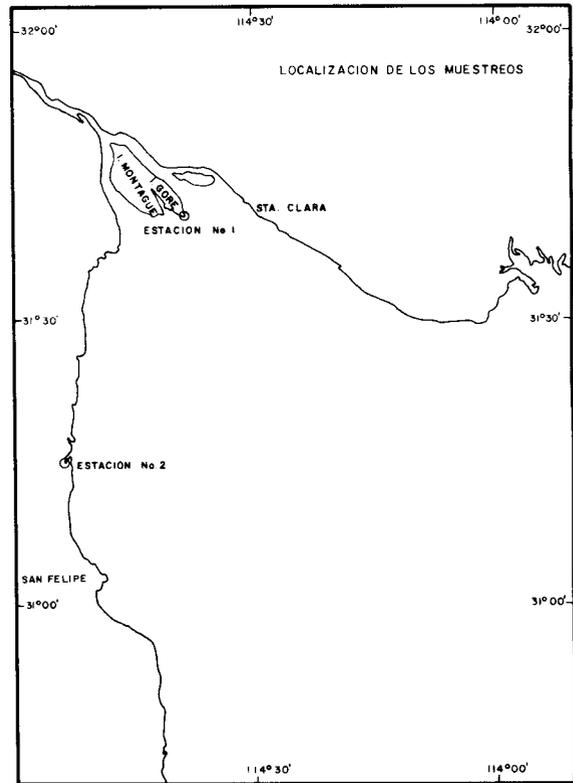


FIGURA 7. Localización de los muestreos de almejas en la zona.

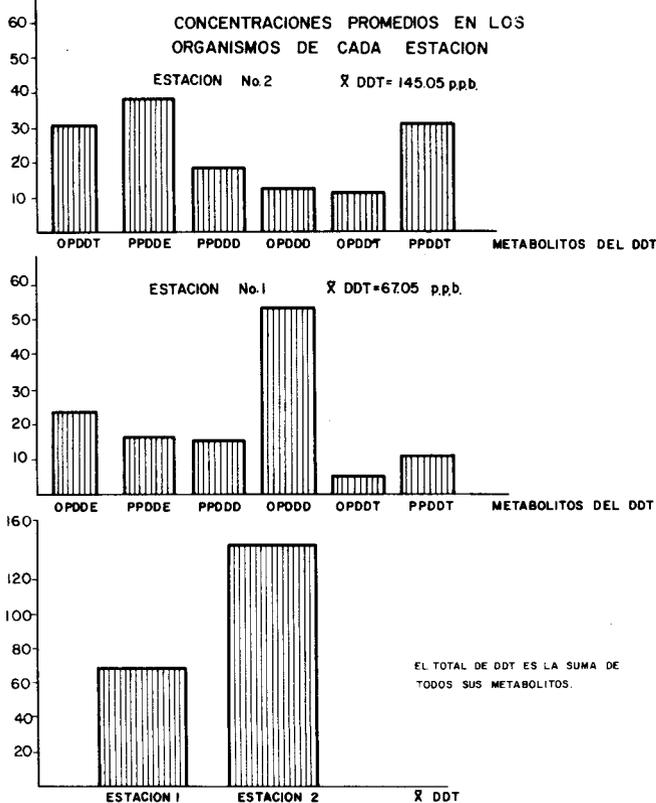


FIGURA 8. Concentraciones promedio de metabolitos y DDT total en las dos estaciones de la zona marina y comparación del DDT total en las dos estaciones.

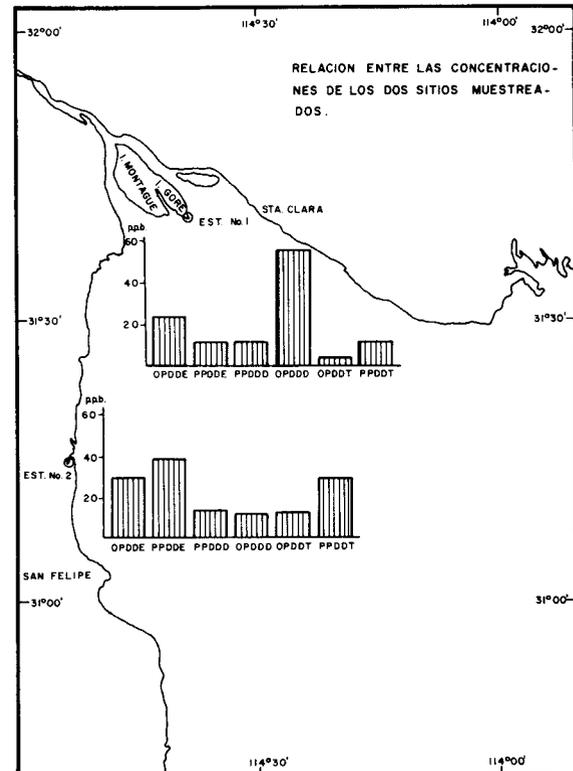


FIGURA 9. Concentración relativa de metabolitos y DDT total en las dos estaciones de la zona marina.

Respecto a los resultados obtenidos en las almejas de la zona marina, consideramos importante el hecho de haber encontrado un promedio de DDT considerablemente mayor en la estación número dos, a pesar de encontrarse ésta mucho más distante geográficamente de pesticidas respecto a la estación número uno de la misma zona. Esto puede deberse a dos posibles factores; el primero: que haya un giro de corrientes en sentido contrario al de las manecillas del reloj, lo cual haría que los contaminantes que provengan del Delta del Río Colorado, acarreados por las aguas, lleguen primero a la zona costera de Baja California para llegar a la zona costera de Sonora solo después de haber recorrido una larga distancia, incorporándose en parte a organismos, a materiales en suspensión o depositándose en el lecho marino. Esta posibilidad va de acuerdo Thompson (1969) quien encontró indicios de este tipo de circulación en base a mediciones de corrientes, distribución de sedimentos, turbidez y orientación de rizaduras de playa a lo largo de la costa de Baja California. Recientemente los estudios de Flores y Galindo (1974) han encontrado indicios de este tipo de circulación en el alto Golfo de California en base a mediciones hidrográficas realizadas en dicha zona. Los estudios de García (1974) aportan más evidencias a esta posibilidad pues encontró una gran cantidad de partículas en suspensión en lo que fue la boca del Río Colorado, y que la turbidez producida por estas partículas se extiende más hacia el sur en la zona costera de Baja California que en la de Sonora. Asimismo Farfán (1974) encontró que las concentraciones de biomasa planctónica son mayores en las costas de Baja California que en las de Sonora. Todos estos argumentos contribuyen a la evidencia de que existe una corriente en este sentido. La mayor abundancia de materiales en suspensión y de plancton en la zona cercana a la segunda estación, puede ser causada de haber encontrado allí una mayor cantidad de residuos de DDT, pues este compuesto se incorpora a los organismos planctónicos y a la materia en suspensión los cuales son asimilados por las almejas al filtroalimentarse.

El segundo factor que pudo haber contribuido a que se hayan encontrado los valores más altos de residuos en la Estación 2 de la zona marina es el viento. Si existe una predominancia de los vientos en dirección de la segunda estación, los insecticidas organoclorados acarreados por el viento se depositarán en mayor cantidad en esa área; esta posibilidad es reforzada por los estudios de Alvarez (1971) mencionando anteriormente, quien encontró que los vientos dominantes en la mayor época del año tienen una dirección noroeste-sureste, o sea en dirección del Valle de Mexicali hacia el alto golfo.

Estos dos factores son los únicos considerados para dar una explicación al hecho de haber encontrado una mayor cantidad de residuos de DDT en la Estación 2 que en la Estación 1 de la zona marina, ya

que el acarreo hidráulico de este contaminante puede considerarse despreciable pues las precipitaciones en la zona terrestre circundante al alto Golfo de California son casi nulas durante todo el año.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos es evidente el alto grado de contaminación por DDT que han alcanzado los organismos en las zonas de estudio. Los niveles de concentración de estos contaminantes han rebasado los límites tolerables (5 ppm en peso húmedo) por la mayoría de los seres vivos, incluyendo al hombre (Drug and Food Administration).

Las especies que forman parte constitutiva del ecosistema de la parte norte del Golfo de California están acumulando en sus organismos residuos de DDT, y dado que la mayoría de estas especies son utilizadas como alimento humano, los consumidores están expuestos a sufrir los efectos fisiológicos producidos por este contaminante.

Es evidente el acarreo eólico de una porción de los insecticidas aplicados en los campos de cultivo del Valle de Mexicali hacia la zona del alto Golfo de California, por lo que constituyen un peligro para el equilibrio ecológico de esta zona, y que podría contribuir a la disminución en abundancia del recurso pesquero más importante de la región, como lo es el camarón. No es muy remota la posibilidad de que este contaminante también haya contribuido en parte a llevar a las puertas de la extinción a la totoaba que anteriormente constituyó un recurso importante para las pesquerías de la región.

Para tratar de demostrar lo anterior, es evidente la importancia que adquiere la realización de estudios más profundos sobre el tema, como sería por ejemplo una investigación sobre efectos fisiológicos del DDT en especies marinas comercial y ecológicamente importantes.

RECOMENDACIONES

Al usarse otros métodos de control de plagas y dejar de incorporarse los pesticidas al ambiente, los ya existentes en él se degradaría a largo plazo y los organismos también lo eliminarían gradualmente, con lo cual terminaría la amenaza que constituyen estos contaminantes sobre el equilibrio ecológico mundial.

Otros métodos de control de plagas podrían ser los siguientes:

- a). El uso de pesticidas de corta vida media, algunos tipos de pesticidas como los fosfatos orgánicos, son descompuestos en el ambiente en días o semanas, lo cual no permitiría a los organismos el suficiente tiempo para asimilarlos.
- b). El uso de enemigos naturales de los insectos, como predadores, bacterias o parásitos.
- c). Técnicas de esterilización sobre las plagas.

RECONOCIMIENTOS

Es mi interés el hacer patente que esta investigación se hizo posible gracias a la valiosa asesoría que me brindó el Gilberto Flores Muñoz, Maestro-Investigador de la Unidad de Ciencias Marinas, al poner a mi disposición su material bibliográfico, conocimientos y experiencia que sobre pesticidas organoclorados y química general posee.

De la misma manera agradezco la ayuda y cooperación que en todo momento mostró el Carlos Eugenio Suárez Vidal, siendo de vital importancia para la terminación del trabajo sus conocimientos y experiencia que sobre el tema y la oceanografía en general domina.

El presente trabajo formó parte de una tesis conjunta por lo cual quiero hacer patente mi agradecimiento al Orlando Núñez Esquer por su valiosa ayuda mediante la cual ha sido posible la terminación del mencionado trabajo.

- Alvarez, L. G. 1971. Vientos en la Bahía de Todos Santos. Publicación del Instituto de Investigaciones Oceanológicas. U.A.B.C.
- Avalos, M. H. 1974. Análisis del desarrollo de las pesquerías del camarón y la totoaba. Unidad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.
- Bitman, J., Cecil, H. C., and Fries, G. F. 1970. DDT-induced inhibition of avian shell gland carbonic anhydrase: a mechanism for thin eggshells. *Science*, 168(3931): 594-595.
- Conney, A. R. 1967. Pharmacological implications of microsomal enzyme induction. *Pharmacological Review*. 19.
- Farfan, B. C. 1974. Estimación de biomasa de zooplancton en la zona norte del Golfo de California. Tesis Profesional. Unidad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.
- Flores, B. B., Galindo, L. B. 1974. Hidrografía del alto Golfo de California. Tesis Profesional. Unidad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.
- García, G. L. 1974. Elementos sobre la distribución de turbidez en el alto Golfo de California. Tesis Profesional. Unidad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.

- Jackson, Wes. 1971. Man and the Environment. Wn. C. Brown Company Publishers. Library of Congress Catalog card number 72-86732. pp. 81-89.
- Kodoum, A. M. Modification of the Micromethod of Sample Cleanup (1968) for Thin-Layer and Gas Chromatographic Separation and Determination of Common Organic Pesticide Residues. *Bull. Environ. Cont. & Tox.*, 3(6): New York, Inc.
- Koelle, G. B. 1963. Cholinesterase and anticholinesterase agents. *Handbuch der Exptl. Pharmacologic*, Suppl. 15, Springer Verlag.
- Man's Impact on the Global Environment. Report of the Study of Critical Environmental Problems (SCEP). (1970). The Massachusetts Institute of Technology. pp. 126-136.
- McGilvery, R. W. 1972. Bioquímica. Nueva Editorial Interamericana, S. A. de C. V. primera edición pp. 99-105.
- Nishikawa, K. K., y otros 1971. Estudio químico sobre la concentración de insecticidas organoclorados en organismos de la parte norte del Golfo de California y desembocadura del Río Colorado. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, U.A.B.C.
- O'Brien, R. D. 1967. Insecticidal action and metabolism. Academic Press New York and London.
- Peakall, D. B. 1970. p,p-DDT: Effect on calcium metabolism and concentration of estradiol in the blood. *Science*, 168(3931): 592-594.
- Schwartz, H. L., Kozyreff, W., Surks, M. I., and Oppenhermer, J. H. 1969. Increased deiodination of L-Thyroxine and L-Triiodothyronine by liver microsomes from rats treated with phenobarbital. *Nature*, 221: 1262-1263.
- Skou, J. C. 1965. Enzymatic bast for active transport of Na⁺ and K⁺ across cell membrane, *Physiol. Rev.* 45.
- Thompson, R. W. 1969. Tidal currents and general circulation.: 51-55. In: Environmental impact of brine effluents on Gulf of California. U.S. Dept. Int., Res. and Dev. Prog. Rept., (387): 1-207.
- Woodwell, G. M., Wurster, C. F., and Isaacson, P. A. 1967. DDT residues in an east coast estuary: A case of biological concentration of a persistent insecticide. *Science* 156(3776): 821-824.