



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA

# UNIVERSIDAD DE SONORA

## DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos  
Programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Especialidad en Almacenamiento y Procesamiento de Productos Marinos

Cuantificación de Insecticidas en Camarón Cultivado en el  
Complejo Acuícola "La Atanasia" y su Efecto  
sobre el Potencial Mutagénico.

TESIS

que para obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Celia Olivia García Sifuentes

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
DEL AUTOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
OBJETIVOS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	3
Plaguicidas.....	3
Generalidades.....	3
Insecticidas.....	4
Organoclorados.....	4
Organofosforados.....	8
Carbamatos.....	10
Piretroides.....	10
Uso y Abuso.....	12
Contaminación por Residuos de Plaguicidas.....	16
Residuos de Plaguicidas en Agua y Sedimentos.....	18
Residuos de Plaguicidas en Camarón.....	23
Impacto Toxicológico de los Plaguicidas en el Valle del Yaquí.....	26
Estudios Epidemiológicos.....	27

## CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

	<b>Página</b>
Mutagenicidad.....	31
Generalidades.....	31
Pruebas de mutagenicidad.....	32
MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
Descripción del Área de Estudio.....	34
Muestreo.....	34
Camarón.....	34
Agua y sedimentos.....	37
Análisis de las Muestras.....	37
Cuantificación de Plaguicidas.....	37
Preparación de material.....	38
Extracción en camarón.....	38
Extracción en agua.....	39
Extracción en sedimentos.....	39
Preparación de estándares.....	40
Análisis cualitativo o preliminar.....	41
Análisis cuantitativo.....	41
Prueba de recuperación.....	42
Determinación de Mutagenicidad.....	42
Obtención de extractos.....	42
Ensayo.....	43
Diseño Experimental.....	44
Análisis de Datos.....	44
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	45
Cuantificación de Insecticidas.....	45
Prueba de Recuperación.....	45
Camarón.....	46

## CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

	<b>Página</b>
Rendimiento.....	57
Porcentaje de sobrevivencia.....	62
Peso.....	67
Agua.....	72
Sedimentos.....	74
Mutagenicidad.....	77
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS .....	90

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1 Concentraciones de insecticidas encontrados en la granja Rafael Buelna durante septiembre y octubre.....	47
2 Concentraciones de insecticidas encontrados en la granja Rafael Buelna durante diciembre.....	48
3 Concentraciones de insecticidas encontrados en la granja Desheredados del Sirm.....	49
4 Concentraciones de insecticidas encontrados en la granja Remanentes del Sirm.....	51
5 Concentraciones de insecticidas encontrados en la granja Enrique Landa....	52
6 Concentraciones de insecticidas y peso del camarón en la granja Rafael Buelna.....	68
7 Concentraciones de insecticidas y peso del camarón en la granja Desheredados del Sirm.....	69
8 Concentraciones de insecticidas y peso del camarón en la granja Remanentes del Sirm.....	70
9 Concentraciones de insecticidas y peso del camarón en la granja Enrique Landa .....	71
10 Concentraciones de insecticidas encontrados en agua del estero La Atanasia Sto.- Domingo .....	73
11 Concentraciones de insecticidas encontrados en sedimentos del estero La Atanasia Sto.-Domingo .....	75

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Estructuras de algunos insecticidas organoclorados.....	5
2	Estructura de algunos insecticidas organofosforados.....	9
3	Estructura de un carbamato.....	11
4	Estructura de algunos insecticidas piretroides.....	13
5	Movimiento de plaguicidas en el ciclo hidrológico.....	20
6	Localización del complejo acuícola “La Atanasia”.....	35
7	Estanques muestreados en las granjas acuícolas.....	36
8	Concentración de insecticidas con respecto al rendimiento del camarón en las granjas 12 y 2.....	58
9	Concentración de insecticidas con respecto al rendimiento del camarón en las granjas 22 y 1.....	59
10	Correlaciones del rendimiento del camarón con respecto a la Concentración de insecticidas.....	60
11	Correlación de la concentración total de insecticidas con respecto al rendimiento del camarón.....	61
12	Concentración de insecticida con respecto al porcentaje de sobrevivencia del camarón en las granjas 12 y 2.....	63
13	Concentración de insecticida con respecto al porcentaje de sobrevivencia del camarón en las granjas 22 y 1.....	64
14	Correlaciones del porcentaje de sobrevivencia del camarón con respecto a la concentración de insecticidas.....	65
15	Correlación de la concentración total de insecticidas con respecto al porcentaje de sobrevivencia del camarón.....	66

## LISTA DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)

Figura		Página
16	Potencial mutagénico de lindano, endosulfán, p'p-DDT, dieldrin, endrin y heptacloro utilizando <i>Salmonella typhimurum</i> TA 98 con y sin activación metabólica.....	78
17	Potencial mutagénico en p'p-DDD, p'p-DDE, paratión, malatión, clorpirifos y mezcla de insecticidas utilizando <i>Salmonella typhimurum</i> TA 98 con y sin activación metabólica.....	79
18	Potencial mutagénico en p'p-DDD, p'p-DDE, paratión, malatión, clorpirifos y mezcla de insecticidas utilizando <i>Salmonella typhimurum</i> TA 100 con y sin activación metabólica.....	82
19	Potencial mutagénico de lindano, endosulfán, p'p-DDT, dieldrin, endrin, y heptacloro utilizando <i>Salmonella typhimurum</i> TA 100 con y sin activación metabólica.....	83
20	Potencial mutagénico en extractos de músculo de camarón de las granjas y estanques estudiados utilizando <i>Salmonella typhimurum</i> TA98 con sin activación metabólica.....	84
21	Potencial mutagénico en extractos de músculo de camarón de las granjas y estanques estudiados utilizando <i>Salmonella typhimurum</i> TA100 con sin activación metabólica.....	85



## RESUMEN

Se detectaron y cuantificaron insecticidas organoclorados y organofosforados en camarón de cultivo de cuatro granjas del complejo acuícola “La Atanasia” durante el período de septiembre a diciembre del 2000. El músculo de camarón se secó a 60°C. Los insecticidas se extrajeron del camarón seco con hexano en el sistema Soxhlet. El extracto se purificó por cromatografía de columna y se concentró auxiliándose de un rotavapor. La detección y cuantificación de los insecticidas se llevó a cabo por medio de cromatografía de gases. De las muestras analizadas, se seleccionó una muestra de cada granja y se le practicó la prueba de mutagenicidad por el ensayo de Ames. A los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza.

Los insecticidas detectados en mayor concentración fueron el p'p-DDE, p'p-DDT, p'p-DDD, endrin, dieldrin, endosulfan II, malatión y paratión. El ensayo de mutagenicidad resultó ser negativo para las muestras seleccionadas de cada una de las granjas.

Las concentraciones encontradas de insecticidas en músculo de camarón estuvieron por debajo de los límites que dicta la FDA para consumo de este tipo de productos. Sin embargo, los niveles detectados están muy cercanos a las concentraciones que han provocado alteraciones en el desarrollo y fisiología del camarón. Estoque podría causar mayores tasas de mortalidad; y por lo tanto, una repercusión económica para el productor.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar y cuantificar los insecticidas organoclorados y organofosforados presentes en el camarón cultivado en el complejo Acuícola “La Atanasia” del Valle del Yaqui. Además determinar el potencial mutagénico del mismo, como efecto de su exposición a estos agroquímicos.

### **Objetivos Específicos**

Cuantificar los principales insecticidas organoclorados y organofosforados que se encuentren en camarón cultivado en granjas de “La Atanasia”.

Cuantificar los principales insecticidas organoclorados y organofosforados que se encuentre en agua y sedimentos del Estero “La Atanasia” al inicio y al final del estudio.

Determinar el potencial mutagénico del camarón cultivado en granjas de “La Atanasia”, como efecto de su exposición a residuos de insecticidas, mediante el ensayo de Ames.

## INTRODUCCION

Durante muchos años se han utilizado un gran número de plaguicidas para el control de insectos, semillas y enfermedades de plantas, en cultivos agrícolas, animales domésticos y ganadería. Como consecuencia de esto, gran parte de la población mundial ha estado expuesta constantemente a diferentes tipos y niveles de plaguicidas.

Existen numerosas rutas por las cuales los plaguicidas pueden entrar en la dieta humana. El suministro de agua puede ser contaminado con plaguicidas como resultado de lavados agrícolas o por desechos industriales. La tierra puede adquirir residuos por el movimiento de aguas contaminadas o por aplicación directa de los plaguicidas. Los alimentos cultivados acumulan residuos a través del asperjado de plaguicidas por el tratamiento de la tierra; la carne y productos lácteos adquieren residuos debido a las aplicaciones directas a los animales, de residuos en sus alimentos, aplicación de plaguicidas a la pastura o por la aspersion a los establos (Food & Agriculture Organization, 1991).

Por otro lado también, puede haber contaminación en las lagunas costeras. Los ecosistemas de mayor producción de camarón en el país son los del Pacífico Subtropical. Sin embargo, éstos se han visto afectados por el aumento de desechos humanos y agrícolas; entre ellos, insecticidas organoclorados y organofosforados principalmente. Esto afecta en forma muy severa la ecología y la biodiversidad de numerosas áreas (Botello y col., 2000). Estos efectos han tomado gran relevancia debido a la reducción de las especies. En los últimos años se le ha dado importancia a la contaminación por

plaguicidas debido a: (1) la alteración (en muchos casos irreversible) del equilibrio ecológico y del medio ambiente y (2) los problemas de salud pública generada por estos contaminantes (Galindo y col., 1996a)

El primer problema genera, entre otras cosas, una reducción en las especies económicamente importantes (tales como camarones, ostiones, peces, etc.) puesto que se presentan problemas como la disminución de la tasa reproductiva, modificación en las relaciones predador - presa, aparición de alteraciones fisiológicas y en casos extremos, muerte de los organismos acuáticos. El segundo problema se refiere a la salud pública, en materia de contaminación por plaguicidas, donde se presentan intoxicaciones agudas, tumores malignos, lesiones cerebrales, atrofia testicular, teratogénesis y muerte fetal (Kamrin, 1997; Galindo y col., 1996a; Galindo y col., 1987).

Con el presente trabajo se pretende cuantificar residuos de algunos insecticidas organoclorados y organofosforados en camarón cultivado en granjas del complejo camaronícola "La Atanasia". Además, determinar el potencial mutagénico del camarón cultivado, como un efecto de su exposición a plaguicidas.

# ANTECEDENTES

## Plaguicidas

### **Generalidades**

Los plaguicidas son productos químicos diseñados para combatir las diversas plagas que afectan los productos agrícolas. Algunos de ellos cumplen la función de controlar enfermedades transmisibles. En Estados Unidos se utilizan cerca de 1 billón de libras de plaguicidas al año. El aumento en el número de plaguicidas ha resultado de gran beneficio para la producción de cultivos y para el control de enfermedades de aspecto público (Nowel y col., 1999).

Los plaguicidas incluyen insecticidas, fungicidas, herbicidas y rodenticidas, los cuales son potencialmente tóxicos debido a factores como su permanencia en el medio ambiente. En general, los plaguicidas presentan toxicidad en diferente grado. El espectro de toxicidad de estos compuestos es alto en insecticidas organofosforados y carbamatos; pero no tan alto en compuestos como los fungicidas. Sin embargo, tienen un potencial toxicológico significativo debido a su toxicidad crónica. Los compuestos considerados virtualmente no tóxicos para mamíferos son los reguladores de crecimiento y los insecticidas de tipo biológico (Saunders y Harper, 1994).

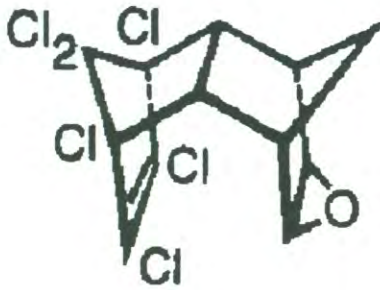
## **Insecticidas**

Los insecticidas son plaguicidas destinados al control de insectos; su principio básico es el efecto que tiene el plaguicida sobre el sistema nervioso del insecto. Aunque existe una diferencia obvia entre el humano y el insecto; es importante reconocer que el mecanismo de toxicidad es similar en humanos y en insectos, la única selectividad que existe está en función de la dosis.

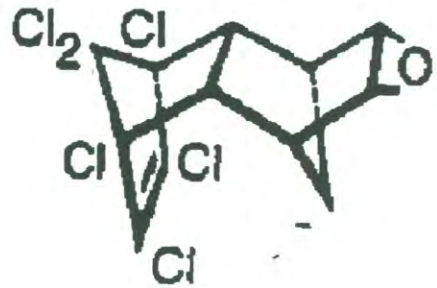
El grupo de los insecticidas se subdivide en cuatro categorías: organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides.

**Organoclorados.** Los insecticidas organoclorados pueden agruparse en tres clases generales: los diclorodifeniletanos (1,1,1-2,2-di (p-clorofenil etano) (DDT), 1,1-dicloro-2,2- di (p-clorofenil etano) (DDD), dicofol, etc); los ciclodienos clorados (aldrin, dieldrin, heptacoloro, etc.) y los hexaclorociclohexanos (lindano). La Figura 1 muestra las estructuras de algunos de ellos.

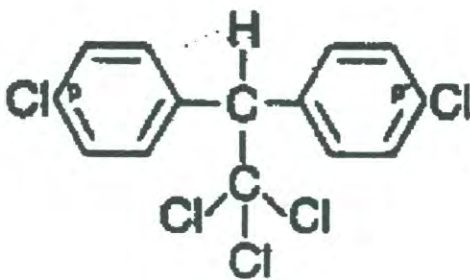
**Diclorodifeniletanos.** Los tres compuestos mayoritarios de esta clase de plaguicidas son dicofol, metoxicloro y DDT. Este último es el más estudiado. Los mecanismos de toxicidad son similares para los tres compuestos, aunque el dicofol y el metoxicloro son menos tóxicos. Además, estos dos últimos compuestos son menos persistentes en el ambiente y fácilmente eliminados por el cuerpo. Aunque los diclorofenilatos son altamente solubles en lípidos, no son bien absorbidos por la piel; lo cual indudablemente ha contribuido a que exista un estricto control de seguridad durante el uso de estos químicos (Saunders y Harper, 1994).



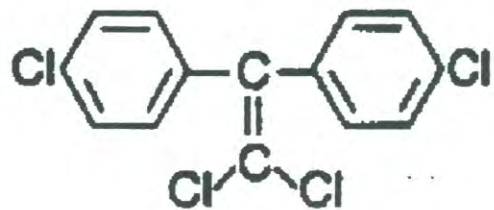
Endrin



Dieldrin



p,p'-DDT



DDE

Figura 1. Estructuras de algunos insecticidas organoclorados  
Fuente: Kamrin, 1997

El plaguicida más estudiado ha sido el DDT, los signos mayores de intoxicación en insectos y mamíferos son hiperactividad, hiperexcitabilidad, temblores y convulsiones. La muerte en los mamíferos es resultado de un paro respiratorio. Es conocido que el DDT produce éstos efectos, al menos en parte, interfiriendo en la permeabilidad del axón al sodio, seguida por una acción potencial. El DDT prolonga este incremento en la permeabilidad del sodio, manteniendo los canales de sodio abiertos, resultando en una repolarización retardada en la membrana axonal. Este estado representa la vulnerabilidad de las células nerviosas a descargas repetitivas por pequeñas estimulaciones, las cuales normalmente no podrían causar una acción potencial en una neurona totalmente repolarizada. A pesar de más de 45 años de investigaciones de los efectos neurotóxicos del DDT es preciso entender los mecanismos moleculares de neurotoxicidad del mismo, que ha sido difícil de describir (Saunders y Harper, 1994).

Se ha reportado que el DDT es causante de tumores en el hígado de ratones, pero no en otras especies como ratas, perros, hámster o monos (Saunders y Harper, 1994).

**Ciclodienos clorados.** Los compuestos más ampliamente utilizados de este grupo son: aldrin, dieldrin, heptacloro, clordano y endosulfan. Esta clase de insecticidas es significativamente más tóxica que los del tipo de DDT. Estos compuestos son relativamente bien absorbidos por la piel y han causado un gran número de intoxicaciones por contacto accidental. Además, algunos de ellos son carcinógenos en animales. En Estados Unidos solo el endosulfan sigue registrado para su uso en



alimentos, los demás ciclodienos clorados se han discontinuado (Saunders y Harper, 1994).

En contraste con el DDT y compuestos similares el efecto neurotóxico parece ser mediado por compuestos periféricos. Los síntomas clínicos provocados por intoxicación con ciclodienos clorados son: la estimulación del sistema nervioso central (SNC), mareos, dolor de cabeza, espasmos y convulsiones. El mecanismo de neurotoxicidad puede presentarse por dos caminos: a) inhibición del ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) estimulando el flujo de cloro, ó b) por la interferencia con el flujo de calcio.

La mayoría de los ciclodienos clorados son carcinogénicos, generalmente producen tumores en el hígado de ratones, mientras que en ratas, solo producen lesiones neoplásticas; generalmente necrosis (Saunders y Harper, 1994).

**Hexaclorociclohexanos.** Estos compuestos normalmente se refieren al hexaclorociclohexano [HCH; diferente del hexaclorobenceno (HCB) que es un fungicida]. El lindano es más tóxico; aunque se utilizó ampliamente en cultivos alimenticios, últimamente se ha utilizado para tratamientos de semillas. Además es empleado clínicamente como octoparasitocida (EXTOXNET, 1996; Saunders y Harper, 1994).

La intoxicación por lindano produce síntomas de toxicidad similares a los observados con los ciclodienos clorados; entre ellos principalmente la activación del SNC, temblor, irritabilidad, agresión, entre otros. Aunque particularmente no es

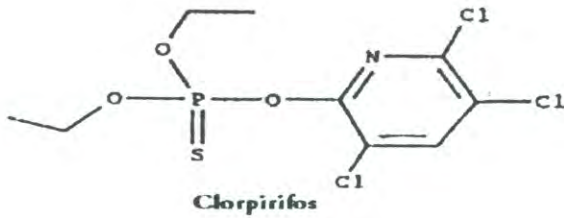
absorbido a través de la piel, existen algunos ejemplos de intoxicación en humanos por exposición dérmica (Saunders y Harper, 1994).

En general los insecticidas organoclorados tienen su modo de acción similar en insectos y en humanos. Estos son estimulantes del sistema nervioso; afectan las fibras nerviosas y alteran la transmisión de impulsos nerviosos. Más específicamente, los miembros de este grupo alteran el balance sodio/potasio que se distribuye alrededor de las fibras nerviosas (Kamrin, 1997).

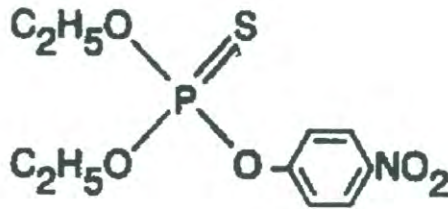
**Organofosforados.** Los insecticidas organofosforados se caracterizan por poseer un átomo central de fósforo y numerosas cadenas a los lados (Figura 2). La mayoría de éstos compuestos son dimetoxi y dietoxi. A este grupo pertenecen compuestos como malatión, diazinón y paratión. Este último es el más utilizado alrededor de todo el mundo (Kamrin, 1997).

El mecanismo de acción de los insecticidas organofosforados es el mismo en insectos y mamíferos. Estos insecticidas causan inactivación de la enzima acetilcolinesterasa (AChE), provocando una amplia variedad de síntomas en mamíferos tales como debilidad y parálisis muscular (Kamrin, 1997).

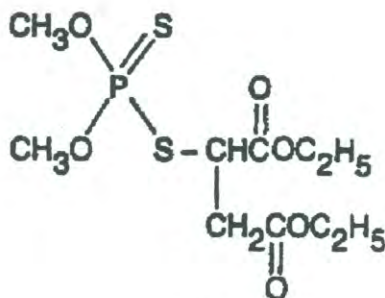
En humanos, los insecticidas organofosforados pueden ser absorbidos a través de la piel, pueden ser inhalados o bien introducirse al cuerpo por medio de ingestión directa. Una vez dentro de las células el paratión por ejemplo, es convertido a paraoxón; reacción promovida por la enzima citocromo P-450 en el retículo endoplásmico. La toxicidad del paraoxón es al menos 9000 veces más alta que el paratión.



Clorpirifos  
Clorpirifos



Paratión



Malatión

Figura 2. Estructuras de algunos insecticidas organofosforados  
Fuente: Kamrin, 1997

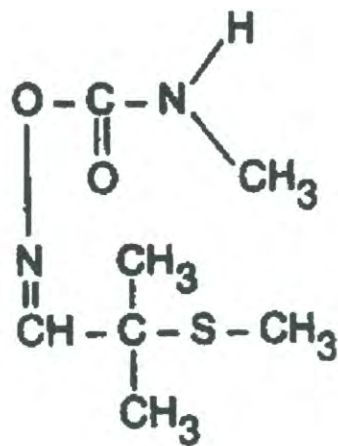
**Carbamatos.** Son moléculas que contienen en su estructura ésteres de ácido carbámico, el cual es ácido acético con nitrógeno, que sustituye al grupo metilo adyacente al grupo carboxilo para formar el ácido carbámico. La Figura 3 muestra la estructura de uno de ellos (Witt, 1989).

Los carbamatos ejercen su acción tóxica sobre los insectos al inhibir la actividad reguladora de la enzima acetilcolinesterasa en la transmisión de los impulsos nerviosos. Estos plaguicidas penetran la cutícula de los insectos y pueden ser transformados, dentro de los insectos, en moléculas de mayor toxicidad; éstos compuestos presentan menor toxicidad en mamíferos ya que siguen diferentes rutas metabólicas que lo transforman en otros menos tóxicos (Saunders y Harper, 1994).

La inhibición de la acetilcolinesterasa es un proceso reversible. Se estima que el tiempo de recuperación en humanos es mayor a 4 días, dependiendo de la dosis, del insecticida específico y de la forma de exposición. La degradación de los carbamatos dentro del organismo es un proceso complejo y depende de la estructura específica del insecticida (Kamrin, 1997).

**Piretroides.** Los piretroides son una mezcla de alcaloides de la planta del crisantemo que tienen propiedades de insecticidas significantes. Sin embargo, no es tóxico para mamíferos debido a su corta duración en el medio ambiente.

Hoy en día, un gran número de piretroides sintéticos tienen uso. La piretrina, cipermetrina, deltametrina y fenvalerato son algunos de los más ampliamente usados. En general los piretroides sintéticos son clasificados como tipo I (compuestos sin la mitad



**aldicarb**

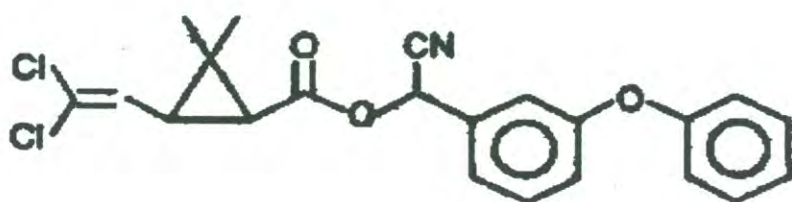
Figura 3. Estructura de un carbamato  
Fuente: Kamrin, 1997

$\alpha$ -ciano) o tipo II (compuestos con la sustitución  $\alpha$ -ciano). La permetrina es un ejemplo de piretroide tipo I, mientras que la cipermetrina, deltametrina y fenvalerato son ejemplos de los piretroides tipo II (Figura 4) (Saunders y Harper, 1994).

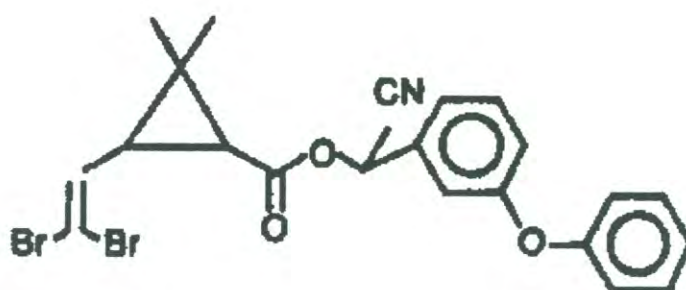
Los síntomas de toxicidad por piretroides tipo I es caracterizado por temblores; los del tipo II por convulsiones y salivación. El mecanismo de toxicidad de los piretroides de tipo I parecen ser similares al DDT, interfieren en los canales de sodio, resultando en una repolarización retardada de la membrana nerviosa. Similar al DDT, los compuestos de tipo I causan descargas repetitivas nerviosas. Los compuestos de tipo II interactúan con el canal de sodio pero sin causar descargas repetitivas. Es decir baja la amplitud de la acción potencial y eventualmente bloquean la conductividad nerviosa debido a la repolarización de la membrana. Además, se ha sugerido que los compuestos de tipo I ejercen su toxicidad a través de la unión con el receptor del GABA. Sin embargo, estos compuestos son solo inhibidores moderados del receptor GABA, especialmente en comparación con los ciclodienos clorados (Saunders y Harper, 1994).

### **Uso y Abuso**

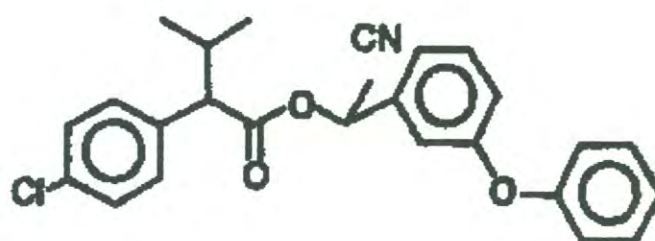
El uso de plaguicidas ha traído consigo tanto beneficios como efectos adversos. Como resultado de las crecientes necesidades económicas de los países para lograr un mayor rendimiento en la agricultura y para asegurar la protección de la salud humana y animal, se han producido más de 2,500 variedades distintas de compuestos químicos con propiedades plaguicidas. Estos han llegado a convertirse en un grave problema debido a que presentan actividad tóxica y a que algunos se acumulan en el ambiente. La



**Cipermetrina**



**Deltametrina**



**Fenvalerato**

Figura 4. Estructuras de algunos insecticidas piretroides  
Fuente: Kamrin, 1997

acumulación de residuos se ha encontrado a lo largo de la cadena alimenticia, llegando hasta el humano (Waliszewski y col., 1996; Waliszewski y col., 2001).

Las consecuencias del uso indiscriminado de los insecticidas, como los del tipo organoclorados pueden apreciarse en el ambiente y en los seres humanos. Esto se manifiesta en su acumulación y persistencia en la cadena trófica; especialmente en los tejidos grasos de los organismos. En la República Mexicana, de acuerdo al Catálogo Oficial de Plaguicidas (CICOPLAFEST, 1994), están permitidos 261 ingredientes activos de plaguicidas. Entre los de mayor interés se encuentran los organoclorados.

Los insecticidas organoclorados son representados por el DDT y de acuerdo a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se emplean en las campañas sanitarias en áreas tropicales, principalmente para el control de vectores transmisores de enfermedades tales como el paludismo. Otro representante de los insecticidas organoclorados es el lindano ( $\gamma$ -hexaclorociclohexano o HCH), que ha sido utilizado en la agricultura para la protección de semillas y en la ganadería para el control de ectoparásitos del ganado.

La importancia ecotoxicológica de estos plaguicidas se incrementa debido a su persistencia y acumulación en la cadena alimenticia, por lo cual fueron prohibidos en muchos países en la década de los sesenta (Waliszewski y col., 1996).

La ingesta de alimentos que contienen residuos de estos plaguicidas es la principal fuente de contaminación para el hombre, mientras que las vías inhalatoria y dérmica generalmente son secundarias, pudiendo ocasionar contaminación en el caso de exposición a ellos, ya sea directa o por aplicación alrededor de casas habitación o dentro



de ellas. La importancia de este hecho radica en que la absorción y acumulación de los plaguicidas organoclorados en el organismo empieza desde la etapa fetal (Waliszewski y col., 1996).

En muchos lugares del mundo los estudios de concentración residual de estas sustancias tóxicas en el ambiente, en los alimentos, en tejidos y en la sangre de personas expuestas, revelan niveles de contaminación que han conducido a restringir su uso y fabricación.

En México, el Valle del Yaqui es considerado como una de las principales regiones agrícolas, debido a su extensión y altos niveles de producción de granos básicos. Sin embargo, para lograr estos rendimientos es indispensable el uso de plaguicidas, por lo que la región es una zona de alta contaminación por plaguicidas. En estudios previos realizados en esta región, en muestras de leche materna se detectó contaminación por compuestos organoclorados en concentraciones por arriba del límite permisible para la leche de vaca. Este es un ejemplo de los efectos adversos del uso indiscriminado de los plaguicidas (Meza y Ramírez, 1996).

En el estado de Yucatán se realizó un estudio desde 1989 a 1994, donde se investigaron los efectos tóxicos de los plaguicidas presentes en ese estado. Los resultados muestran que cuando se efectúa una búsqueda orientada a través de una investigación en las comunidades hortícolas o citrícolas, se encuentra un alto porcentaje de intoxicados (hasta un 41%) que en su mayoría pasan desapercibidos para las autoridades de salud, pues sólo alcanzan a registrarse los pacientes graves que requieren hospitalización, los que tan sólo representan el 2% de los que sufren intoxicación aguda.

Por otra parte, se evidencia que los plaguicidas organofosforados y carbámicos son de mayor consumo en el estado y de mayor nivel de toxicidad, seguidos de los herbicidas; todos ellos causantes del mayor número de intoxicaciones entre los agricultores, tanto leves y moderados, como severas (González y Alvarado, 1996).

Muchos de los ejemplos anteriores sobre acumulación y efectos de los residuos de plaguicidas se encuentran alrededor de todo el mundo, lo que da una idea del "uso y abuso" de los plaguicidas.

### **Contaminación por Residuos de Plaguicidas**

Durante muchos años se han utilizado un gran número de plaguicidas para el control de insectos, semillas y enfermedades de plantas, en cultivos agrícolas, animales domésticos y ganadería. Como consecuencia de esto, la población de la mayoría del mundo ha estado expuesta constantemente a diferentes niveles de plaguicidas.

Existen numerosas rutas por las cuales los plaguicidas pueden entrar en la dieta humana. El suministro de agua puede ser contaminado con plaguicidas como resultado de lavados agrícolas o por desechos industriales. La tierra puede adquirir residuos por el movimiento de aguas contaminadas o por aplicación directa de los plaguicidas. Los alimentos cultivados acumulan residuos a consecuencia del asperjado de plaguicidas para el tratamiento de la tierra y el cultivo. La carne y productos lácteos adquieren residuos debido a las aplicaciones directas a los animales, de residuos en sus alimentos,

aplicación de plaguicidas a la pastura o por la aspersión a los establos (Food and Agriculture Organization, 1991).

Como en el caso de la mayoría de los países, la contaminación química por plaguicidas no fue importante en México hasta 1945. Las prácticas agrícolas eran tradicionales, sin el uso o con muy pocos químicos, excepto para el algodón, para el cual se utilizaban extractos naturales de quinina o plaguicidas inorgánicos. Sin embargo, después de la segunda guerra mundial se introdujeron los plaguicidas organoclorados, particularmente el DDT y se utilizaron en el país con propósitos agrícolas y como parte de un soporte internacional a la campaña contra la malaria. Información reciente de la Secretaría de Salud, indica que 58 áreas del territorio nacional, incluyendo las más productivas y 48 millones de personas están potencialmente sujetas a la malaria. (Botello y col., 2000).

Uno de los problemas más importantes en cuanto a contaminantes orgánicos es la persistencia de los plaguicidas organoclorados. En México su presencia en el ambiente, alimentos y tejidos humanos no ha sido considerado un problema importante, por lo que la importación y producción de muchos de estos contaminantes no ha sido restringida (Botello y col., 2000).

Por otro lado, las lagunas costeras del pacífico subtropical mexicano, son los ecosistemas de mayor producción de camarón. Sin embargo, el aumento de los desechos humanos, desechos agrícolas como plaguicidas organoclorados y las descargas directas de drenaje en las lagunas, lleva a una contaminación muy severa que afecta la ecología y la biodiversidad de numerosas áreas (Botello y col., 2000).

Los problemas derivados de la contaminación por plaguicidas en sistemas acuáticos ha tomado en los últimos años una importante relevancia por dos aspectos fundamentales: (1) la alteración en muchos casos irreversible del equilibrio ecológico y del medio ambiente y (2) los problemas de salud pública generada por estos contaminantes.

El primer problema genera, entre otras cosas, una reducción en las especies económicamente importantes tales como: camarones, ostiones y peces. Esto se debe a una disminución de la tasa reproductiva, a las modificaciones en las relaciones predador - presa, a la aparición de alteraciones fisiológicas y, en casos extremos, a la muerte de los organismos acuáticos.

Los problemas principales de salud pública, en materia de contaminación por plaguicidas son, entre otros, las intoxicaciones agudas, tumores malignos, lesiones cerebrales, atrofia testicular, teratogénesis y muerte fetal. La población más expuesta a estos riesgos son principalmente los trabajadores agrícolas, obreros de muelles y bodegas; así como también, pescadores y personas que viven en las zonas aledañas a la zona contaminada; además del público consumidor de mariscos capturados en la zona (Galindo y col., 1987).

### **Residuos de Plaguicidas en Agua y Sedimentos**

El gran potencial de los efectos adversos de los plaguicidas se debe en parte a la contaminación del sistema hidrológico. Este soporta la vida acuática y se relaciona con la cadena alimenticia, además del uso de agua para recreación, para beber y para muchos

otros propósitos. El agua es uno de los medios primarios en los cuáles los plaguicidas son transportados desde los sitios de aplicación a otras partes del ambiente, por lo que hay un potencial de movimiento dentro y a través de todos los componentes del ciclo hidrológico (Figura 5). Esto se ha demostrado por la detección repetitiva de plaguicidas en aguas de Estados Unidos, desde lagos, reservorios ríos y presas, así como en sistemas marinos y estuarinos además de en agua de precipitación (Nowel y col., 1999).

Los plaguicidas pueden ser transportados por el viento a canales de drenaje, ríos, lagos y océanos; o bien pueden aplicados directamente (Sharom y col., 1980).

Algunos plaguicidas se caracterizan por su baja solubilidad en el agua y por su gran liposolubilidad. Por lo anterior, dichas sustancias al entrar a sistemas estuarinos, lagunas costeras u océanos son absorbidos paulatinamente por el fitoplancton y transferidos a los diferentes niveles tróficos por los organismos marinos que se alimentan de este material biológico (Galindo y col., 1987).

La contaminación por plaguicidas en sedimentos y medios acuáticos es de gran importancia; los de mayor interés han sido los insecticidas organoclorados. Estos compuestos contienen predominantemente carbono, hidrógeno y cloro, y tienden a ser hidrofóbicos por lo que presentan la característica de ser poco solubles en agua. Los insecticidas organoclorados están típicamente presentes en bajos niveles en el agua y son comúnmente asociados a las partículas suspendidas. Muchos de estos compuestos tienden a ser persistentes debido a que son resistentes a la degradación abiótica o microbiológica en agua o en sedimentos. Los insecticidas organoclorados pueden acumularse en niveles sustanciales en los sedimentos y en el medio acuático por un

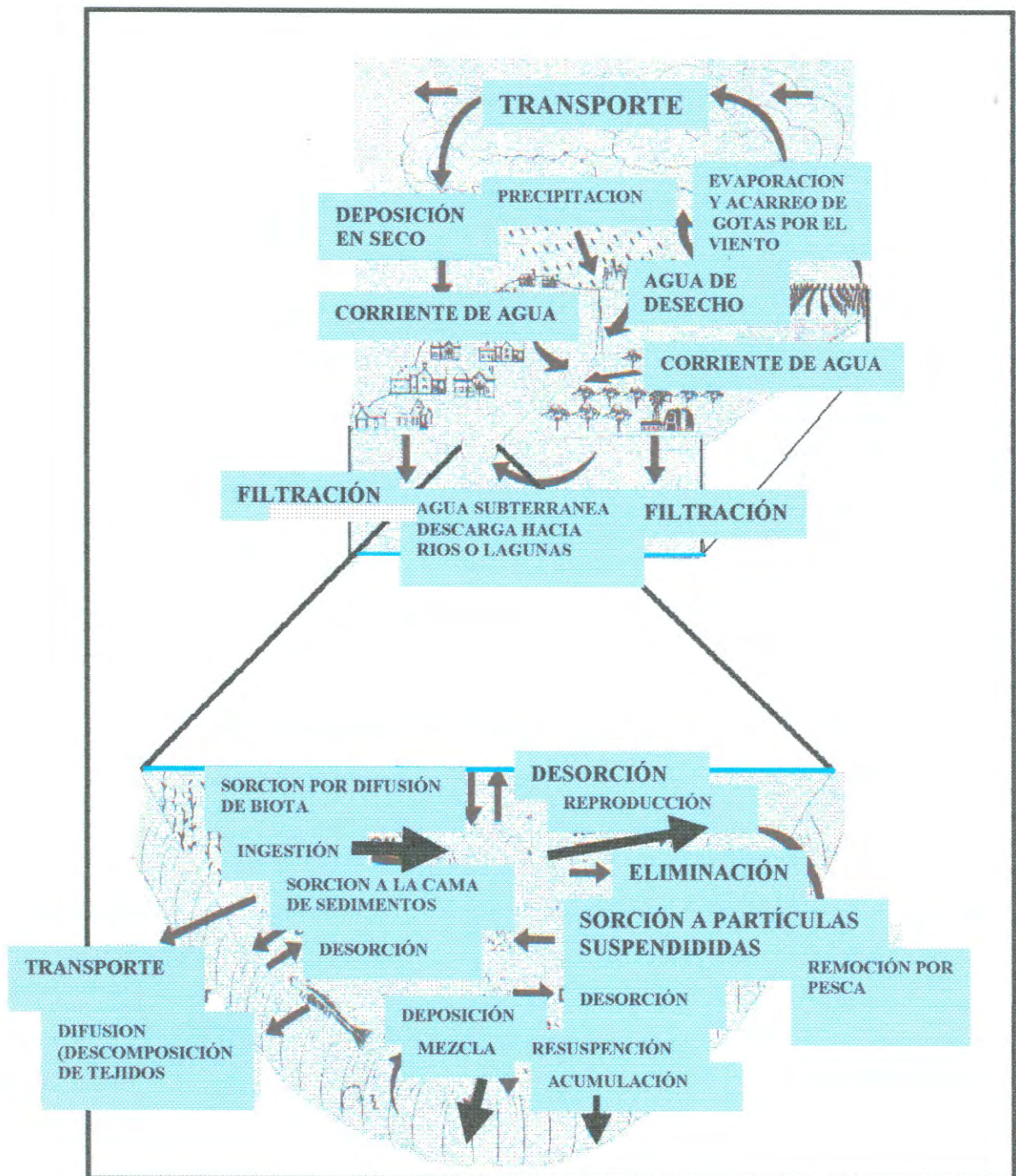


Figura 5. Movimiento de plaguicidas en el ciclo hidrológico  
Fuente: Nowell y col., 1999

proceso de transporte (Figura 5). Después estos plaguicidas pueden ser detectados en sedimentos o en el medio acuático y cuantificar las concentraciones presentes.

En 1987, se realizó un estudio de los niveles de contaminación por plaguicidas en el agua del estero de Urías en Mazatlán, Sinaloa, México. En dicha investigación se encontraron niveles altos de plaguicidas organoclorados, mismos que rebasaron los valores permisibles establecidos por la Federal Water Pollution Control Administration (FWPCA). Así mismo, se concluye que el agua del estero estudiado es potencialmente inadecuada para uso recreativo y conservación de flora y fauna (Galindo y col., 1987).

En 1995, en la laguna Huizache Caimanero del estado de Sonora, se encontraron niveles altos de insecticidas; principalmente el lindano, por lo cual se discute que este tipo de insecticida posiblemente se bioacumula a través de la cadena alimenticia. Esto puede constituir un riesgo asociado con el consumo humano de camarón y pescado capturado en esta laguna (Galindo y col., 1997).

Con el fin de evaluar el estado de contaminación por plaguicidas organoclorados en pescado y camarón empleados para consumo humano, de abril de 1997 a febrero de 1998, se realizó una investigación en las lagunas costeras del Pacífico Subtropical Mexicano (estado de Chiapas). Esto fue originado principalmente por el uso intensivo de agroquímicos y su acumulación en sedimentos. En general, los niveles de plaguicidas organoclorados dominantes encontrados en sedimentos de la laguna Carretas-Pereira fueron heptacloro, epóxido de heptacloro y aldrin. Mientras tanto, los compuestos más abundantes encontrados en sedimentos en Chantuto-Panzacola fueron endosulfan II, p,p'-DDE y epóxido de heptacloro. Cabe mencionar que la mayoría de estos compuestos

han sido restringidos y en algunos casos prohibidos debido a su alta toxicidad (Botello y col., 2000).

La comparación con estudios previos realizados en el pacífico mexicano por Rosales y col. (1985) en la laguna de Yaváros en el estado de Sonora y del sistema Huizache-Caimanero, indican que el total de concentraciones encontradas en sedimentos en las lagunas de Chiapas fueron extremadamente más altos.

Por otro lado, de diciembre de 1997 a septiembre de 1998, se determinaron residuos de plaguicidas en dos costas del golfo de California (Sinaloa, México). Los plaguicidas más frecuentemente encontrados en agua y sedimentos fueron aldrin y sus metabolitos (endrin, endrin aldehído), endosulfan y sus metabolitos (sulfato de endosulfan),  $\alpha$ -BHC, DDT y sus metabolitos (DDE y DDD), malatión y paratión. Algunos de los plaguicidas detectados como endrin, lindano, aldrin, DDT y sus metabolitos son prohibidos por las regulaciones mexicanas (CICOPLAFEST, 1994). Por lo tanto, estos cuerpos de agua son un riesgo crítico de contaminación por plaguicidas (Galindo y col., 1999a).

Las investigaciones sobre detección de residuos de plaguicidas, no solo se ha llevado a cabo en México, sino que se ha extendido alrededor de todo el mundo. Un ejemplo de ello es en el río Yang Tse en China, donde se detectaron altos niveles de compuestos orgánicos policlorados, especialmente HCB y DDT. El p,p'-DDE (metabolito del DDT) fue el compuesto que más dominó en los sedimentos (Xu y col., 2000).

En la costa norte del Mar Mediterráneo en Egipto se detectaron plaguicidas como HCB, lindano y p,p'-DDT; además también se encontró dimetoato (Abbassy, 2000).



En el Lago Paronoá en Brasilia, Brasil; se detectaron niveles de endosulfan, endrin y aldrin, además de epóxido de heptacloro y dieldrin. Sin embargo, los niveles fueron relativamente bajos (0.14 – 2.0 µg/kg), lo que indica que la ingestión de pescado u otro organismo marino de este medio acuático no representa algún riesgo para la salud de los consumidores. Aún así, se sugieren programas de monitoreo continuo para el control y mantenimiento de la calidad del lago (Caldas y col., 1999).

Con los ejemplos anteriores puede ilustrarse la persistencia en el ambiente de algunos de los plaguicidas utilizados con diferentes fines y su efecto contaminante en diferentes medios; en este caso en agua y sedimentos. En 1980 se realizó un experimento para observar la persistencia de varios plaguicidas, llegando a la conclusión de que el orden de persistencia de plaguicidas después de 8 semanas en agua natural fue el siguiente: dieldrin>endrin>etiión>lindano>diazinón>carbofuran>p,p'-DDT>paratión (Sharom y col., 1980).

### **Residuos de Plaguicidas en Camarón**

El camarón es una de las fuentes de divisas más importantes en el país, debido a su alto valor comercial en el mercado internacional. El número de granjas camaronícolas se ha incrementado poco a poco desde 1989. Estas granjas están muy cercanas a los márgenes de los esteros y lagunas costeras, utilizando la misma agua para el crecimiento de larvas de camarón. Desafortunadamente estas granjas están también muy cercanas a zonas agrícolas con producción elevada. En ellas se utilizan grandes cantidades de plaguicidas, lo que lleva a la contaminación de estas zonas productoras de camarón. En

ocasiones, los problemas se hacen más complicados por ser un cuerpo de agua semiencerrado y por recibir contaminantes de diferentes fuentes como: drenajes municipales, fumigaciones de bodegas de muelles, barcos, construcción de caminos, programas de prevención de enfermedades (paludismo, dengue, etc.); además de ser lugares de asentamientos humanos con desarrollo industrial y zonas de recreación (Galindo y col. , 1999 a; Galindo y col. b; Galindo y col., 1987).

Desafortunadamente en años recientes, en el estado de Sinaloa, se han registrado mortalidades masivas y diversas patologías en camarón y las causas no son completamente conocidas (Galindo y col., 1999a). Algunos estudios realizados en Sinaloa indican concentraciones críticas de plaguicidas organoclorados restringidos o prohibidos en agua, sedimentos y camarón. La concentración de algunos plaguicidas reportados en esos trabajos superan los niveles permisibles establecidos por la FWPCA. Esta situación puede ser peligrosa para las granjas que utilicen principalmente larvas silvestres (Galindo y col., 1996b).

De diciembre de 1997 a septiembre de 1998, se realizó un estudio de detección de plaguicidas en agua, sedimentos y camarón en las bahías de Santa María y ensenada del Pabellón en el Golfo de California. Los plaguicidas más frecuentemente encontrados en agua y sedimentos fueron aldrin y sus metabolitos (endrin, endrin aldehído), endosulfan y sus metabolitos (sulfato de endosulfan),  $\alpha$ -BHC, DDT y sus metabolitos (DDE y DDD), malatión y paratión. Algunos de los plaguicidas detectados como endrin, lindano, aldrin, DDT y sus metabolitos son prohibidos por las regulaciones mexicanas (CICOPLAFEST, 1994). Por lo tanto, estos cuerpos de agua son un riesgo crítico para la

contaminación por plaguicidas (Galindo y col., 1999a). Otro estudio realizado en 1997 en la laguna costera Ohuira en Sinaloa se detectaron aldrin, endrin, metilparation, DDT y lindano en concentraciones de 93 a 144  $\eta\text{g/g}$  (Galindo y col. 1999b). Además se ha encontrado que algunos de estos plaguicidas causan severos cambios bioquímicos y alteraciones fisiológicas en camarón peneido (*Penaeus vannamei*) expuestos a concentraciones subletales, particularmente DDT, lindano, malatión, paratión y clordano (Galindo y col., 1996b; Galindo y col., 2000).

En la laguna Carretas-Pereira en Chiapas, se detectó heptacloro, p,p'DDE y HCH en el camarón blanco (*P. vannamei*). Las concentraciones de plaguicidas en músculo de camarón blanco de la laguna Carretas-Pereira es más alta que la reportada por Rosales y Escalona (1983) para las mismas especies de las lagunas Caimanero y Moroncarit en el estado de Sinaloa (Botello y col., 2000).

La contaminación por plaguicidas puede ser una causa masiva de mortalidad y se han reportado diversas patologías en camarón peneido. Se ha encontrado que causa diversas alteraciones en organismos acuáticos, como la reducción de actividad enzimática, disminución de proteínas y síntesis de glucógeno, así como incremento en la velocidad de respiración (Lignot y col., 1997; Galindo y col., 1996a).

### Impacto Toxicológico de los Plaguicidas en el Valle del Yaqui

En México, el Valle del Yaqui es considerado como una de las principales regiones agrícolas debido a su extensión y altos niveles de producción de granos básicos. Sin embargo, para lograr estos rendimientos es indispensable el uso de plaguicidas (Meza y Ramírez, 1996). La forma de aplicación de los plaguicidas en los cultivos es aérea, mecánica y manual. Los agricultores han reportado que pueden plantarse hasta dos cultivos en un año. En estos cultivos se aplican plaguicidas hasta por 45 veces. Los compuestos utilizados incluyen organofosforados, mezclas de organoclorados y piretroides. Por ejemplo, en el algodón se utilizan hasta 33 compuestos diferentes para el control de plagas desde 1958 a 1990. Dentro de estos se incluyen el DDT, dieldrin, endosulfan, endrin, heptacloro y paratión metílico. En 1986 se vendieron 63 formulaciones diferentes de plaguicidas en el sur de Sonora; entre ellas, sustancias prohibidas en los Estados Unidos como lindano y endrin, las cuales pueden ser adquiridas muy fácilmente por los agricultores (García y Meza, 1991; citado por Guillete y col., 1998). Por tal motivo la región del Valle del Yaqui es una zona de alta contaminación por plaguicidas para el hombre, quien está expuesto constantemente a estas sustancias a través del medio ambiente o los alimentos (Meza y Ramírez, 1996).

En los últimos 12 años se tiene conocimiento de 217 casos de intoxicación por plaguicidas en las jurisdicciones IV y V, donde están comprendidos los Valles del Yaqui y Mayo. El grupo de individuos entre 15 y 44 años de edad es el más afectado con 137 casos (61.3%) del total. Le siguen en frecuencia el grupo de 15 a 24 años de edad con

47 casos (21.6%). Ambos acumulan 183 intoxicaciones (82.9%), lo que ubica el problema principalmente en el grupo de trabajadores (Secretaría de Salubridad y Asistencia, 1995).

No solo se han encontrado casos de intoxicaciones; también se ha determinado la presencia de plaguicidas organoclorados en leche materna. García y Meza (1991) demostraron que las principales vías de contaminación por plaguicidas organoclorados en neonatos lactantes es el pasaje transplacentario y leche materna.

Por otro lado, se ha encontrado contaminación ambiental con plaguicidas en las Bahías de Yavaros y Lobos. Se ha señalado la elevación de las concentraciones de plaguicidas en el acuífero, que han alcanzado las fuentes de abastecimiento de agua potable y riego. Finalmente, se ha mencionado que el incremento en la utilización de plaguicidas es tal, que es común encontrar residuos en alimentos y sustratos biológicos tales como tejidos y leche materna (Secretaría de Salubridad y Asistencia, 1995).

### **Estudios Epidemiológicos**

En 1992 se inició un programa epidemiológico que abordó diversos aspectos relacionados con la salud por el uso de plaguicidas en el estado. La primera etapa se enfocó principalmente en la elaboración de un diagnóstico sobre el uso de plaguicidas en el Valle del Yaqui y sus repercusiones en la salud humana. La segunda etapa del programa, que inició en octubre de 1994, tuvo como objetivo el estudio de la situación que guarda el uso de plaguicidas en cinco zonas agrícolas del estado, así como el establecimiento de un sistema permanente para el registro y estudio epidemiológico de

casos de intoxicación por plaguicidas. Este sistema orientará las acciones de tipo educativo, preventivo y de monitoreo biológico y ambiental. La tercera etapa en los Valles del Yaqui y Mayo, Costa de Hermosillo, Caborca y San Luis Río Colorado, tuvo objetivo fue disminuir los riesgos y daños a la salud causados por el uso y manejo de agroquímicos (Secretaría de Salubridad y Asistencia, 1995).

Dentro de los resultados obtenidos en la primera etapa del Valle del Yaqui se censaron 103 trabajadores en establecimientos que comercializan plaguicidas, 42 trabajadores de negocios de fumigación y 72 pilotos aviadores. Por último, la cuantificación de jornaleros agrícolas fue de 48,135 trabajadores, cantidad que sumada a las anteriores, arroja un total de 48,351 personas sujetas a riesgo epidemiológico, que representó en ese momento, el 15.6% de la población de BÁCUM, Cajeme y Guaymas (Secretaría de Salubridad y Asistencia, 1995).

Con el fin de identificar fuentes de contaminación para el hombre, se tomaron 47 muestras ambientales de las cuales 11 fueron de agua para consumo humano, principalmente de las fuentes de abastecimiento de las comunidades asentadas en el Valle del Yaqui, 15 muestras fueron de alimentos en los campos agrícolas o en establecimientos comerciales, 12 muestras fueron de suelo y el resto de otros especímenes, principalmente de agua en canales utilizados para lavar ropa o para bañarse. Los resultados indicaron que no hubo detección de plaguicidas, aunque cabe aclarar que las muestras se tomaron en un período muy corto y en consecuencia no reflejan la situación del uso de plaguicidas en las diversas épocas del año. Un muestreo

permanente en el futuro, realizado en puntos representativos, podría arrojar datos más precisos sobre la situación (Secretaría de Salubridad y Asistencia, 1995).

Con respecto al impacto en la salud de los trabajadores agrícolas, todos los sujetos se consideraron en riesgo. Se seleccionaron 144 personas del Valle del Yaqui y se le tomó una muestra de sangre, determinando biometría, bilirrubinas, plaquetas y colinesterasa. Solamente se detectó anemia hipocrómica, siendo normales los resultados del resto de las biometrías.

Durante el desarrollo de este estudio, se realizó una investigación documental, revisando certificados por defunción por leucemias en los años de 1989 a abril de 1992, encontrándose 134 muertes por esta causa.

Los resultados de la segunda etapa indican, que en relación a los campos agrícolas, se seleccionaron 58 de las 5 zonas estudiadas, encontrándose la utilización de 65 productos agroquímicos, de los cuáles 37% corresponden al grupo III (moderadamente tóxico), 28% al grupo IV (ligeramente tóxico), 21% al grupo II (altamente tóxico) y 14% al grupo I (extremadamente tóxico).

Los productos agroquímicos que se comercializan en las distribuidoras de Cd. Obregón son un total de 40, correspondiendo el mayor porcentaje al grupo IV con un 47.5%, el grupo III 22.5%, seguido por el grupo I con 17.5% y finalmente 12.5% de productos del grupo II.

El recurso humano que labora en los campos agrícolas estudiados fue de 9,092 trabajadores, de los cuáles el 17% son de base y 83% eventuales, estos últimos representan una mayor dificultad para la capacitación, así como para la localización y

seguimiento de los casos de intoxicación. Ninguno se somete a control médico inicial o periódico para la vigilancia de los efectos de los plaguicidas; no obstante, estos trabajadores fueron los que representaron los cuadros de intoxicación aguda.

Una de las formas de control de plagas en los cultivos del Valles del Yaqui más comunes es la fumigación aérea, contando para su operación con aeropistas. Se visitaron 11 aeropistas, nueve autorizadas o aeropistas base y dos improvisadas o clandestinas. Las aeropistas son insuficientes, por lo que se utilizan caminos vecinales para todas las maniobras contribuyendo así con la contaminación de canales, drenes y tierras de cultivo, así como los depósitos de envases vacíos a cielo abierto (Secretaría de Salubridad y Asistencia, 1995).

En cuanto a la existencia de basureros, éstos se encuentran dispersos por toda la zona sin tener una ubicación estratégica. Se localizaron 4 basureros, los cuales estaban a una distancia de 10-20m de los canales de riego debido a que para llevar a cabo la preparación del plaguicida se requiere agua. Estos depósitos se encontraron a cielo abierto, por lo que al caer lluvia, la formación de volúmenes importantes de lixiviado pudo haber contribuido con la contaminación de suelos.

En lo referente a la tercera etapa del estudio epidemiológico, por una parte, se identificaron las peculiaridades de cada región, así como los grupos tóxicos más utilizados, y por otra parte, se confirmaron las situaciones de riesgo que ya se habían detectado en el Valle del Yaqui; se identificaron lugares para establecer posteriormente el monitoreo ambiental permanente que lleve al conocimiento de grado de contaminación (Secretaría de Salubridad y Asistencia, 1995).



Se considera que algunos de los plaguicidas pueden ser promotores de carcinogenicidad. Cerca del 90% de los carcinógenos analizados han sido mutagénicos en la prueba de Ames. Ames y McCann (1981) estimaron que la correlación era del 83%, por ello algunas veces se utiliza la mutagenicidad para estimar carcinogenicidad (Maron y Ames, 1983).

## Mutagenicidad

### **Generalidades**

La mutagenicidad es la propiedad de los químicos a causar cambios en el material genético y que pueden ser transmitidos por la división celular. Las mutaciones pueden ocurrir en dos tipos de células, con consecuencias diferentes. Las mutaciones en células germinales dañan al DNA del espermatozoide y ovario, el cual después de la división meiótica potencialmente puede transmitir estas mutaciones a futuras generaciones. Si los mutágenos están presentes a la hora de la fertilización, ya sea en el huevo o en el esperma, el resultado de la combinación de material genético puede no ser viable y provocar la muerte en las primeras etapas de la división celular embrionaria. Alternativamente la mutación en el material genético, puede no afectar la embriogénesis, pero puede resultar en la muerte del feto en la última etapa del desarrollo, provocando aborto. Las anomalías congénitas, pueden ser el resultado de mutaciones. Las mutaciones en células somáticas pueden provocar muerte celular o transmitir defectos genéticos a otras células en el mismo tejido vía división mitótica. Se piensa que la carcinogénesis química es un evento mutagénico. Comúnmente el potencial

carcinogénico de las sustancias puede predecirse mediante pruebas de mutagenicidad (Klaassen y Eaton.,1991).

### **Pruebas de Mutagenicidad**

Existen algunos procedimientos *in vivo* e *in vitro* para analizar sustancias o factores que causen mutaciones. Algunas alteraciones genéticas son visibles en el microscopio de luz. En este caso, se utiliza el análisis citogénico de un frotis de médula ósea de un animal expuesto. Debido a que algunas mutaciones son incompatibles con el desarrollo normal, el potencial mutagénico de un químico puede medirse mediante un examen de letalidad; este ensayo normalmente se lleva a cabo en roedores.

El ensayo para mutágenos más comúnmente utilizado es el desarrollado por Ames y col. (1975). En este se ensayo se utilizan algunas mutantes de *Salmonella thyphimurium* que carecen de la enzima fosforibosil ATP sintetasa, la cual se requiere para la síntesis de histidina. La *Salmonella* mutante es incapaz de crecer en un medio deficiente de histidina. Dos mutaciones adicionales muy importantes permiten una mayor penetración de sustancias en la bacteria y una disminución en la eficiencia con que la bacteria puede reparar daños en el DNA. Se cuantifica el número de bacterias revertantes, por medio del número de colonias que han crecido en el medio deficiente en histidina (Klaassen y Eaton.,1991).

El ensayo de Ames ha sido utilizado para determinar mutagenicidad en muestras ambientales complejas y en mezclas biológicas. Un número considerable de mutágenos,

primeramente detectados por el ensayo con *Salmonella*, demostraron ser carcinogénicos en ensayos con animales.

En el año 2001, se publicó una compilación de datos obtenidos durante los últimos 20 años de más de 1000 muestras de agua para detectar mutagenicidad con el ensayo de Ames. En éstos se utilizaron las cepas de *Salmonella* TA 98 y TA 100 en presencia de enzimas microsomales (S9). La primera cepa resultó ser más sensible (Umbuzeiro y col., 2001).

En 1998, el ensayo de Ames fue oficial y sistemáticamente incluido en Sao Paulo State Water Quality Monitoring Program. Esto como resultado del esfuerzo por estandarizar la metodología, compilar y clasificar el efecto mutagénico en agua contaminada. El ensayo, es una buena herramienta para identificar fuentes de contaminación como: benceno, benzo(a)pireno y plaguicidas. Este último muy importante para el desarrollo de este trabajo (Umbuzeiro y col., 2001).

El ensayo de Ames tiene una amplia aplicación para detectar mutagenicidad provocada por plaguicidas. Así, se ha utilizado en muestras de agua (Umbuzeiro y col., 2001) y leche de vaca (Green y col., 1980); por lo que puede ser viable para el análisis de otras muestras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Área de Estudio

El estudio se realizó en diversas granjas del complejo acuícola “La Atanasia”, ubicada en latitud norte 27°10' y longitud oeste 110°10', a 47 Km al suroeste de Ciudad Obregón (Figura 6).

### Muestreo

#### **Camarón**

El muestreo se llevó a cabo mensualmente durante el período de septiembre del 2000 a diciembre del mismo año; las muestras de camarón fueron de las granjas acuícolas: Remanente de Sirm (G1), Desheredados del Sirm (G2), General Rafael Buelna (G12) y Enrique Landa (G22), granjas más cercanas al canal de alimentación (Figura 7) mismo que toma agua de áreas muy cercanas del sistema estuarino la Atanasia-Santo Domingo, donde desemboca el canal principal de desechos agrícolas.

Se muestrearon 3 estanques por cada granja seleccionada. Se tomó 1 muestra de 1 kg de cada uno de los estanques seleccionados realizando el muestreo en diversos puntos del estanque.

El camarón fue capturado por medio de una tarraya. Después de la captura, el camarón fue enhielado y trasladado al laboratorio de Alimentos Marinos del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos en la ciudad de Hermosillo,

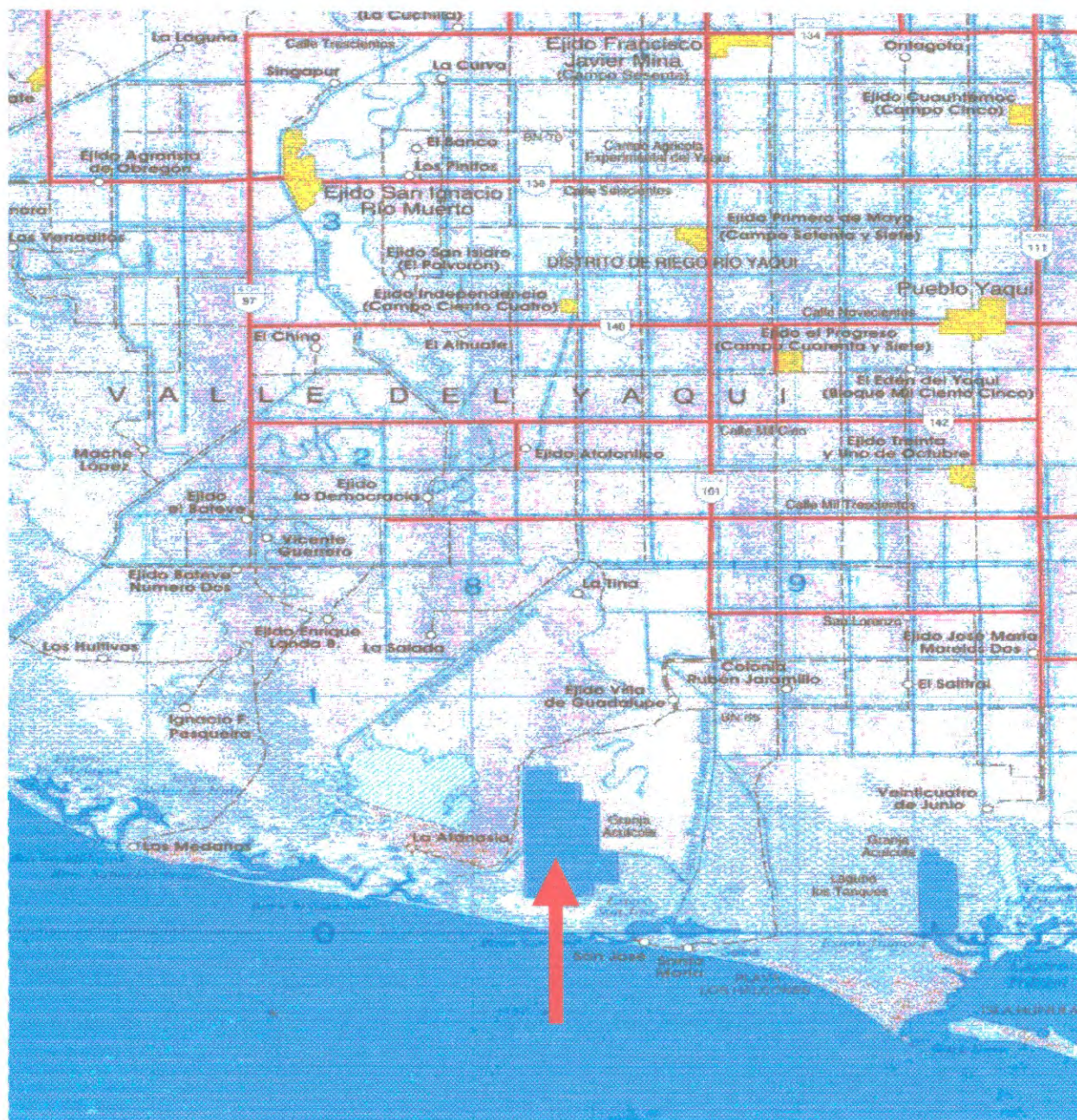


Figura 6. Localización del complejo acuícola “La Atanasia”.  
Fuente: Inegi, 1998

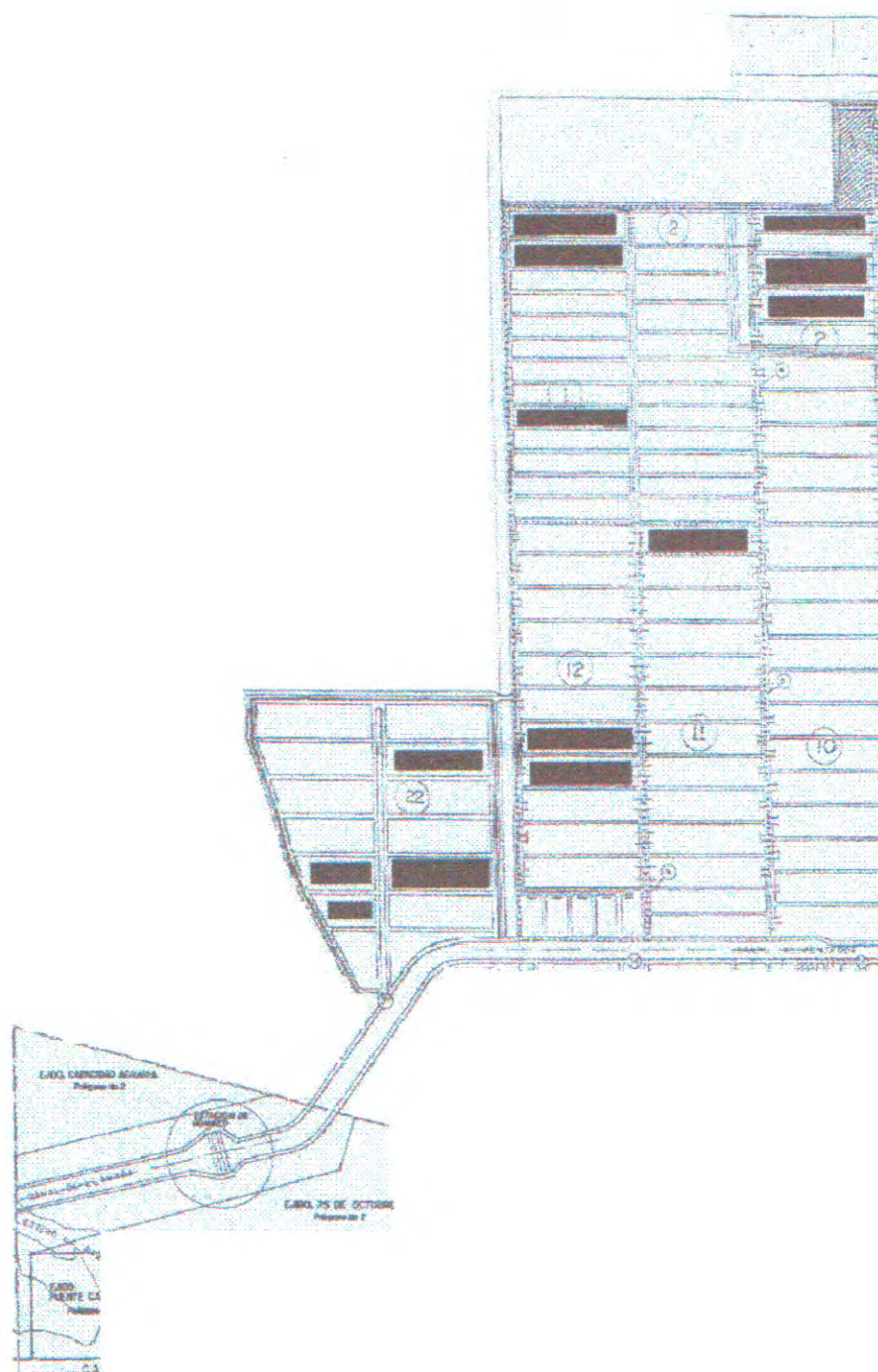


Figura 7. Estanques muestreados en las granjas acuícolas estudiadas. Los cuadros marcados indican los estanques utilizados. Los números encerrados en círculo indican la granja.

Fuente: Atanasia, 2000

Sonora. Ahí se descabezó y se mantuvo en congelación a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ , hasta su posterior análisis.

### **Agua y Sedimentos**

El muestreo de agua y sedimentos se llevó a cabo en el estero “La Atanasia- Sto. Domingo” localizado en latitud norte  $27^{\circ}11'$  y longitud oeste  $110^{\circ}13'$ , al inicio y al final del estudio. Es decir en el mes de septiembre y en el mes de diciembre del 2000.

Las muestras de agua y sedimentos se tomaron de los extremos de dos lugares diferentes del estuario. Los sedimentos se tomaron de una profundidad de aproximadamente 10 cm.

Para el transporte de las muestras de agua y sedimento se usaron botellas de vidrio de 3 lt color ambar con tapa cubierta de teflón, previamente lavadas con una solución acuosa de extrán y enjuagadas con agua destilada, acetona y hexano. Una vez en el laboratorio, se conservaron en refrigeración entre  $0$  y  $2^{\circ}\text{C}$  hasta el momento de su extracción.

### **Análisis de las Muestras**

#### **Cuantificación de Plaguicidas**

El análisis de insecticidas de las muestras de camarón, agua y sedimentos se llevó a cabo por medio de cromatografía de gases (A.O.A.C., 1999), utilizando un cromatógrafo Varian, modelo 3800, equipado con detector de captura de electrones (DCE). Para esto

se llevó a cabo la preparación del material, extracción, análisis cualitativo y cuantificación del insecticida, de la siguiente manera.

**Preparación de material.** El material se lavó perfectamente con detergente, se sometió a un enjuague con agua corriente y se expuso a extrán al 5% durante 24 h. Después se enjuagó con agua corriente, agua destilada y se secó en estufa. Una vez seco el material se enjuagó con acetona y finalmente con hexano. Se secó y se cubrió con papel aluminio para no exponerlo a partículas de polvo que pudieran interferir en el análisis cromatográfico (ITSON, 1989).

**Extracción en camarón.** La obtención del extracto de camarón se llevó a cabo de acuerdo a la metodología descrita por Galindo y col. (1999a), con algunas modificaciones. El camarón descabezado se deshidrató en túnel de aire a 60-65 °C durante 5 o 6 h, en lugar de deshidratarlo en estufa de convección a las mismas condiciones de temperatura. La muestra obtenida se molió y se procedió a obtener el extracto de 10 g de camarón deshidratado, en lugar de 20 g del mismo camarón, utilizando el sistema Soxhlet con 140 ml de n-hexano grado cromatográfico, (EM Science) durante 4 h, en lugar de 8 h.

El extracto se purificó por medio de cromatografía de columna, la cual fue empacada con silica gel/óxido de aluminio/florisil/sulfato de sodio anhidro en relación 4:4:2:4, respectivamente (todos marca Merck). La columna utilizada fue de 35 cm de longitud y 2 cm de diámetro interno. Enseguida, el extracto se concentró en un evaporador rotatorio Büchi 461, a un volumen de 2 ml y se transfirió a viales de 2 ml con rosca y tapón con



septas de teflón-silicona (Supelco). Los extractos fueron almacenados en congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  para su posterior análisis cromatográfico.

**Extracción en agua.** El método fue el propuesto por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (1972) bajo las siguientes condiciones: un litro de muestra se introdujo en un embudo de separación de 2 litros, se adicionaron 60 ml de mezcla de éter dietílico (Merck) al 15% en hexano grado cromatográfico (EM Science), se agitó vigorosamente y se recuperó la fase etérea; repitiendo el proceso en tres ocasiones.

La eliminación de todos los residuos de humedad se realizó utilizando sulfato de sodio anhidro (Merck) por medio de una filtración.

El extracto se concentró en un evaporador rotatorio Büchi 461, hasta un volumen de 10 ml y se transfirieron a viales con tapón y septa de teflón silicona (Supelco) para su posterior análisis por cromatografía de gases.

**Extracción en sedimentos.** Se utilizó la metodología descrita por Galindo y col. (1999a). Los sedimentos se deshidrataron a temperatura ambiente. Al término de esto se molió la muestra y se procedió a obtener el extracto de 15 g de sedimento utilizando el sistema Soxhlet con 140 ml de n-hexano grado cromatográfico (EM Science) durante 4 horas.

La purificación y concentración del extracto se llevó a cabo utilizando la misma metodología descrita anteriormente para camarón.

**Preparación de estándares.** La preparación de estándares se llevó a cabo partiendo de una solución madre a 1000 ppm de cada uno de los siguientes insecticidas: endosulfán, heptacloro, clorpirifos y malatión, todos de marca Riedel-de Haën (RdH Laborchemikalien GmbH & Co. KG D30926 Seelze), además de paratión (Supelco, Supelco Park, Bellefonte, PA 16823-0048 USA). Para la preparación del p'p-DDT, p'p-DDE, p'p-DDD, lindano, dieldrin, endrin y metoxicloro, todos de marca Chem Service (Po Box 599, West Chester, PA 19381), se partió de una solución madre a 100 ppm. Cada uno de los estándares se llevaron por separado a 10 ppm, utilizando hexano como solvente. De esta solución se partió para preparar una mezcla a 1000 ppb con todos los insecticidas organoclorados y se llevó a concentraciones de 400 ppb, 200 ppb, 100 ppb, 50 ppb, 10 ppb y 1 ppb, concentraciones utilizadas para la construcción de la curva de calibración que fue utilizada en la cualificación y cuantificación de los insecticidas. Por otro lado, cada uno de los insecticidas organofosforados se llevó a 10 ppm, utilizando acetona como solvente. De estas soluciones se preparó una mezcla a 1000 ppb, de la cual se prepararon las de 400 ppb, 200 ppb, 100 ppb, 50 ppb, 10 ppb y 1 ppb, utilizadas para la construcción de la curva de calibración, la cual fue utilizada para la cualificación y cuantificación de los insecticidas.

**Análisis cualitativo o preliminar.** Se realizó comparando los tiempos de retención de los picos en el cromatograma de cada extracto con los tiempos de retención de los picos en cada estándar, auxiliándose de un procesador de datos (Star WS CD-ROM kit versión 5.51) (A.O.A.C., 1999). Las inyecciones fueron del tipo splitless, inyectando 1  $\mu$ l. Fue

empleada una columna capilar Durabond 608 (DB-608) con 0.32mm de diámetro interno y 30 m de longitud, columna específica para insecticidas. Se utilizó como gas acarreador el helio UAP (Ultra Alta Pureza), con un flujo de 1.7 ml/min, una velocidad de carta de 35 cm/seg y make up de 29 ml/min. La temperatura del inyector fue de 250°C y la del detector de 300°C. Se utilizó un programa de temperatura para la columna, donde la temperatura inicial fue de 140°C/min, con una velocidad de calentamiento de 10°C/min, hasta llegar a una temperatura 240°C, después de permanecer 5 minutos, se aumentó la temperatura hasta 265°C a una velocidad de 5°C/min. El detector utilizado, tanto para insecticidas organoclorados como para insecticidas organofosforados, fue de captura de electrones.

**Análisis cuantitativo.** La cuantificación se realizó siguiendo los procedimientos indicados en APHA-AWWA-WPCF (1989). Se empleó la columna Durabon 608 utilizada en el análisis preliminar. Se cuantificaron los insecticidas relacionando las áreas de los picos identificados en las muestras con las áreas de los picos de las soluciones estándar, auxiliándose de un procesador de datos (Star WS CD-ROM kit versión 5.51). Las condiciones cromatográficas fueron las mismas que las empleadas en el análisis preliminar. Las inyecciones de cada muestra durante la cuantificación se realizaron por duplicado.

**Prueba de recuperación.** Con el fin de verificar la metodología empleada en la extracción de insecticidas en camarón se realizó la prueba de recuperación. Ésta se llevó a cabo enriqueciendo la muestra con el estándar de endosulfan a una concentración de 1000 ppb. A la muestra enriquecida se le proporcionó el mismo tratamiento de extracción, limpieza y concentración que a la muestra sin enriquecer (control). El extracto se inyectó en el cromatógrafo de gases utilizando la metodología de cualificación y cuantificación anteriormente mencionada. Finalmente se procedió a realizar los cálculos del porcentaje de recuperación.

### **Determinación de Mutagenicidad**

La determinación del potencial mutagénico de las muestras se llevó a cabo de acuerdo a la técnica descrita por Maron y Ames (1983), previa extracción de los insecticidas presentes en la muestra de camarón. El ensayo y la técnica de extracción serán descritas a continuación.

**Obtención de extractos.** La obtención de extractos de las muestras, se llevó a cabo por medio de una extracción en frío. A 10 g de muestra se le añadieron 50 ml de una mezcla de hexano:acetona grado cromatográfico (EM Science) en relación 1:1 y se sometieron a agitación durante 1 hr. La fase líquida (solvente) se recuperó por medio de una filtración y posteriormente el solvente se evaporó hasta sequedad, auxiliándose de gas nitrógeno. El extracto seco se resuspendió en dimetil sulfoxido (DMSO, marca Sigma) hasta 2 ml,

de donde se hicieron diluciones de 1:10, 1:100, 1:1000 para el ensayo, utilizando DMSO como solvente.

En cuanto a los estándares de insecticidas, éstos se prepararon a concentraciones de 10, 100, 1000 y 10000 ng/ml, de tal forma que al agregar 0.1ml de estándar a una placa petri estuvieran presentes las cantidades de 1, 10, 100 y 1000 ng de insecticida por placa. El solvente donde estaban suspendidos los estándares de insecticidas se evaporó en su totalidad con nitrógeno. El contenido restante en el vial se resuspendió en 1 ml de DMSO, donde finalmente quedaron disueltos los insecticidas para su utilización en el ensayo de Ames.

**Ensayo.** Éste consistió en observar la reversión o crecimiento de colonias (mutagenicidad) de *Salmonella typhimurium* histidina dependiente a *Salmonella typhimurium* histidina independiente a consecuencia de su exposición al mutágeno (insecticida). Esta prueba se realizó con y sin la presencia de una mezcla metabolizante, que consistió en un homogenizado comercial (Moltox) de hígado de rata, proveniente de ratas inducidas con bifenilos policlorados (mezcla S9) la cual se utilizó para bioactivar aquellos compuestos que necesitarían ser transformados para desarrollar actividad mutagénica.

El ensayo se llevó a cabo por medio de la técnica de incorporación en placa, donde estuvieron todos los componentes de la prueba. Se distribuyeron 2 ml de agar en tubos de 13 x 100, 0.1 ml de cepas de *Salmonella* (TA98 y TA100), 0.1 ml de muestra y 0.5 ml de mezcla enzimática S9 para los ensayos que lo requirieran. El contenido se

incorporó en placas conteniendo agar mínimamente glucosado, y éstas se incubaron a 37°C/48 h. Se contaron todas las colonias revertantes tanto en las muestras como en los controles. Se utilizó como control positivo a la aflatoxina B<sub>1</sub>(con mezcla metabólica). Se consideraron como mutagénicas a aquellas muestras que presentaran más del doble de las revertantes espontáneas (R.E.).

### **Diseño Experimental**

Se aplicó un diseño de parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron las granjas y las parcelas chicas cada uno de los estanques de las granjas estudiadas, con una dimensión de 100 m de ancho por 500 m de longitud. El muestreo se realizó al azar dentro de cada parcela chica (estanque). Los ensayos constaron de dos repeticiones y cada ensayo se realizó por duplicado

### **Análisis de Datos**

Se realizó un análisis de varianza para observar diferencias entre estanques, granjas y con respecto al tiempo. Se utilizó para los fines anteriores el programa estadístico JMP versión 3.1 (1997).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Cuantificación de Insecticidas

Se detectaron todos los insecticidas buscados, tanto en camarón como en agua y sedimentos. Estos fueron lindano, heptacloro, endosulfán I y II, endrin, dieldrin, p'p-DDT (1,1,1-2,2-di-(p-clorofenil etano), p'p-DDD (1,1-dicloro-2,2-di(p-clorofenil etano), p'p-DDE (1,1-dicloro-2,2-di(p-clorofenil etano), metoxicloro, clorpirifos, malatión y paratión. La concentración encontrada de cada uno de ellos se mostrará más adelante, así como un análisis general, que aunque no está dentro de los objetivos de este trabajo, pudiera servir como antecedente para futuros estudios dentro del complejo acuícola. Éste análisis general es de la correlación que pudiera existir entre la concentración de insecticida detectada en camarón y el rendimiento (ton/ha), el porcentaje de sobrevivencia y el peso del camarón al momento del muestreo.

### **Prueba de Recuperación**

Con el fin de verificar si en la técnica de extracción utilizada para camarón se obtenían resultados reproducibles se realizó una fortificación de muestras en donde el porcentaje de recuperación fue del  $99.6 \% \pm 9.3 \%$ . Según la literatura un buen porcentaje de recuperación se considera desde el 75 al 120% de recuperación (A.O.A.C., 1998). Por lo anterior los resultados pueden considerarse confiables.

## Camarón

Las Tablas 1 y 2 muestran los resultados obtenidos en la granja 12. En el mes de diciembre se consideraron otros estanques diferentes a aquellos muestreados en septiembre y octubre (Tabla 2); por ello se muestran los resultados por separado. Las concentraciones más altas de insecticidas fueron para el p'p-DDE, dieldrin, endrin, endosulfán II, p'p-DDT, malatión y paratión. En octubre sólo se dió seguimiento a un estanque de los muestreados, debido a que los demás ya habían sido cosechados, debido a que el camarón presentó problemas virales como taura y mancha amarilla. En el estanque muestreado en octubre puede observarse la incidencia de los insecticidas mencionados anteriormente.

El análisis de varianza para esta granja indica no haber diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las concentraciones de insecticidas detectados con respecto a los diferentes estanques estudiados. Debido a los datos insuficientes no pudo realizarse el análisis de varianza para esta granja con respecto al tiempo.

La Tabla 3 muestra los resultados de la concentración de cada insecticida encontrado en la granja 2. Las más altas concentraciones detectadas fueron para el p'p-DDE, dieldrin, endrin, endosulfán II, p'p-DDT, p'p-DDD, malatión y paratión. En la misma tabla puede observarse claramente como los insecticidas mencionados anteriormente siguen presentes a través del tiempo de muestreo. Sin embargo, el análisis de varianza realizado indica que no hay una diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre las concentraciones de insecticidas detectadas en los diferentes estanques de la granja. De



Tabla 1. Concentraciones de insecticidas encontrados en camarón de la granja Rafael Buelna durante septiembre y octubre.

Granja	Insecticida	Septiembre	Octubre
		Concentración (ng/g)	Concentración (ng/g)
G12E4	Lindano	0.4594	
G12E12		0.3874	
G12E5			0.5329
G12E4	Heptacloro	0.5396	
G12E12		0.6200	
G12E5			0.4598
G12E4	Endosulfán I	0.8433	
G12E12		0.8791	
G12E5			1.2015
G12E4	p'p-DDE	3.7498	
G12E12		2.6642	
G12E5			2.4849
G12E4	Dieldrin	1.5018	
G12E12		0.7752	
G12E5			1.4814
G12E4	Endrin	2.3882	
G12E12		3.7299	
G12E5			0.3250
G12E4	p'p-DDD	N.D.	
G12E12		N.D.	
G12E5			N.D.
G12E4	Endosulfán II	4.9994	
G12E12		8.8367	
G12E5			0.6349
G12E4	p'p-DDT	3.8187	
G12E12		4.5300	
G12E5			1.1376
G12E4	Metoxicloro	N.D.	
G12E12		N.D.	
G12E5			N.D.
G12E4	Clorpirifos	1.0457	
G12E12		0.4864	
G12E5			0.6465
G12E4	Malatión	1.1855	
G12E12		8.1396	
G12E5			18.911
G12E4	Paratión	2.6650	
G12E12		3.6513	
G12E5			5.3106

G= Granja

E= Estanque

N.D.= No Detectado

Tabla 2. Concentraciones de insecticidas encontrados en camarón de la granja Rafael Buelna durante diciembre.

Granja	Insecticida	Diciembre
		Concentración (ng/g)
G12E13	Lindano	0.9855
G12E14		0.6152
G12E15		0.6320
G12E13	Heptacloro	0.6997
G12E14		0.5481
G12E15		1.0547
G12E13	Endosulfán I	1.6129
G12E14		1.1338
G12E15		0.9729
G12E13	p'p-DDE	6.0577
G12E14		2.4340
G12E15		2.5986
G12E13	Dieldrin	1.9181
G12E14		1.1701
G12E15		1.2423
G12E13	Endrin	0.954
G12E14		0.4293
G12E15		0.5601
G12E13	p'p-DDD	0.8968
G12E14		0.9116
G12E15		0.6698
G12E13	Endosulfán II	2.0097
G12E14		1.5863
G12E15		1.3839
G12E13	p'p-DDT	2.4217
G12E14		1.2981
G12E15		0.8261
G12E13	Metoxicloro	N.D.
G12E14		N.D.
G12E15		0.8261
G12E13	Clorpirifos	0.9607
G12E14		10.5783
G12E15		29.5454
G12E13	Malatión	39.5422
G12E14		6.0601
G12E15		10.2301
G12E13	Paratión	2.5974
G12E14		4.1077
G12E15		5.1961

G= Granja

E= Estanque

N.D.= No Detectado

Tabla 3. Concentraciones de insecticidas encontrados en la granja Desheredados del Sirm.

Granja	Insecticida	Septiembre Concentración (ng/g)	Octubre Concentración (ng/g)	Diciembre Concentración (ng/g)
G2E1	Lindano	0.5555	0.6888	0.6431
G2E4		0.6875	0.4874	0.6627
G2E3		0.7001	0.4447	cosechado
G2E1	Heptacloro	0.8553	0.977	0.7723
G2E4		0.9692	0.5296	0.7695
G2E3		0.8959	0.6761	cosechado
G2E1	Endosulfán I	0.5618	2.1165	0.9096
G2E4		0.7879	0.6933	1.3044
G2E3		0.8959	0.6761	cosechado
G2E1	p'p-DDE	3.0902	3.765	3.6491
G2E4		2.8981	3.2083	5.4718
G2E3		4.0392	2.9334	Cosechado
G2E1	Dieldrin	1.1213	0.7484	1.588
G2E4		1.5225	1.417	1.2928
G2E3		1.0981	0.7007	cosechado
G2E1	Endrin	1.1371	1.1558	1.2341
G2E4		1.3448	2.9729	1.3834
G2E3		2.1083	1.3773	cosechado
G2E1	p'p-DDD	1.8741	2.3148	2.2109
G2E4		0.803	1.9992	1.4659
G2E3		2.2101	1.8286	cosechado
G2E1	Endosulfán II	1.9717	0.6935	1.5676
G2E4		1.6207	3.5261	1.8012
G2E3		2.3777	1.9399	cosechado
G2E1	p'p-DDT	2.0921	1.3768	2.3464
G2E4		2.8933	3.5166	2.5264
G2E3		2.9291	2.3357	cosechado
G2E1	Metoxicloro	N.D.	N.D.	2.2164
G2E4		N.D.	N.D.	N.D.
G2E3		N.D.	N.D.	N.D.
G2E1	Clorpirifos	1.097	0.6529	0.8005
G2E4		0.5732	0.5488	0.6629
G2E3		0.7991	0.6008	cosechado
G2E1	Malatión	6.5834	26.8087	15.8298
G2E4		17.9561	6.3672	8.6461
G2E3		8.7036	21.4895	cosechado
G2E1	Paratión	4.049	6.9088	7.7555
G2E4		14.1921	6.9088	5.8141
G2E3		22.4041	3.8512	cosechado

G= Granja

E= Estanque

N.D.= No Detectado

igual forma no se encontró diferencia significativa ( $p>0.05$ ) de las concentraciones de insecticidas con respecto al tiempo de muestreo.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la granja 1. Las concentraciones de insecticidas más altas fueron en p'p-DDE, p'p-DDD, endosulfán II, p'p-DDT, malatión y paratión. Al igual que la granja 12, en el mes de octubre solo se pudo dar seguimiento a un estanque. Para diciembre, el total de estanques fue cosechado antes de tiempo. Los insecticidas mencionados anteriormente permanecen en octubre. El análisis estadístico indica que en la granja 1 no hay diferencia significativa ( $p>0.05$ ) con respecto a las concentraciones encontradas en los estanques muestreados. Debido a los datos insuficientes no pudo realizarse el análisis de varianza para esta granja con respecto al tiempo.

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos en la granja 22. Las concentraciones más altas de insecticida fueron para p'p-DDD, endosulfán II, p'p-DDT, p'p-DDE, dieldrin, malatión y paratión. En esta granja, no fue posible realizar un seguimiento hasta diciembre. Lo anterior debido a la cosecha temprana del camarón puesto que presentó problemas virales como taura y mancha amarilla.

Los insecticidas mencionados con anterioridad aún aparecen como los más altos en octubre. El análisis estadístico indica que no hay diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre las concentraciones de insecticidas en los diferentes estanques estudiados. Debido a los datos insuficientes no pudo realizarse el análisis de varianza para esta granja con respecto al tiempo.

Tabla 4. Concentraciones de insecticidas encontrados en camarón de la granja Remanentes del Sirm.

Granja	Insecticida	Septiembre Concentración (ng/g)	Octubre Concentración (ng/g)	Diciembre Concentración (ng/g)
G1E12	Lindano	0.5667	0.595	Cosechado
G1E13		0.736	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.3691	Cosechado	Cosechado
G1E12	Heptacloro	0.757	1.1862	Cosechado
G1E13		0.9652	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.9299	Cosechado	Cosechado
G1E12	Endosulfán I	0.8949	0.8034	Cosechado
G1E13		0.7609	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.4765	Cosechado	Cosechado
G1E12	p'p-DDE	2.3382	2.8946	Cosechado
G1E13		2.8057	Cosechado	Cosechado
G1E19		1.4479	Cosechado	Cosechado
G1E12	Dieldrin	1.6636	0.4776	Cosechado
G1E13		0.6344	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.426	Cosechado	Cosechado
G1E12	Endrin	1.3313	1.602	Cosechado
G1E13		1.0609	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.5911	Cosechado	Cosechado
G1E12	p'p-DDD	0.5476	2.3911	Cosechado
G1E13		2.1499	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.5334	Cosechado	Cosechado
G1E12	Endosulfán II	1.5381	2.3067	Cosechado
G1E13		2.3795	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.7097	Cosechado	Cosechado
G1E12	p'p-DDT	2.7154	2.7703	Cosechado
G1E13		3.3141	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.3042	Cosechado	Cosechado
G1E12	Metoxicloro	1.4689	N.D.	Cosechado
G1E13		N.D.	Cosechado	Cosechado
G1E19		N.D.	Cosechado	Cosechado
G1E12	Clorpirifos	0.6346	0.6717	Cosechado
G1E13		0.6076	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.6956	Cosechado	Cosechado
G1E12	Malatión	32.5776	7.9664	Cosechado
G1E13		6.4727	Cosechado	Cosechado
G1E19		75.2944	Cosechado	Cosechado
G1E12	Paratión	3.3314	7.5822	Cosechado
G1E13		7.237	Cosechado	Cosechado
G1E19		0.6623	Cosechado	Cosechado

G= Granja

E= Estanque

N.D.= No Detectado

Tabla 5. Concentraciones de insecticidas encontrados en camarón de la granja Enrique Landa.

Granja	Insecticida	Septiembre	Octubre	Diciembre
		Concentración (ng/g)	Concentración (ng/g)	Concentración (ng/g)
G22E1	Lindano	0.5712	Cosechado	Cosechado
G22E2		0.3691	Cosechado	Cosechado
G22E3		0.4123	0.5146	Cosechado
G22E11	Heptacloro	0.6622	Cosechado	cosechado
G22E1		0.9054	Cosechado	Cosechado
G22E2		1.2143	Cosechado	Cosechado
G22E3		0.7089	0.5601	Cosechado
G22E11		1.101	Cosechado	cosechado
G22E1		Endosulfán I	0.5561	Cosechado
G22E2	0.4458		Cosechado	Cosechado
G22E3	0.9162		1.0969	Cosechado
G22E11	p'p-DDE	0.3021	Cosechado	cosechado
G22E1		2.9831	Cosechado	Cosechado
G22E2		1.924	Cosechado	Cosechado
G22E3		3.2631	2.6823	Cosechado
G22E11		2.5253	Cosechado	cosechado
G22E1		Dieldrin	0.2695	Cosechado
G22E2	1.3511		Cosechado	Cosechado
G22E3	0.6862		1.232	Cosechado
G22E11	Endrin	0.2746	Cosechado	cosechado
G22E1		0.6526	Cosechado	Cosechado
G22E2		1.9668	Cosechado	Cosechado
G22E3		1.5777	1.5777	Cosechado
G22E11		0.6701	Cosechado	cosechado
G22E1		p'p-DDD	2.389	Cosechado
G22E2	N.D.		Cosechado	Cosechado
G22E3	1.0998		1.242	Cosechado
G22E11	Endosulfán II	2.4015	Cosechado	cosechado
G22E1		0.8096	Cosechado	Cosechado
G22E2		6.0085	Cosechado	Cosechado
G22E3		1.3202	1.9424	Cosechado
G22E11		0.5794	Cosechado	cosechado
G22E1		p'p'-DDT	0.8096	Cosechado
G22E2	4.7689		Cosechado	Cosechado
G22E3	4.9055		3.3397	Cosechado
G22E11	Metoxicloro	0.5279	Cosechado	cosechado
G22E1		N.D	Cosechado	Cosechado
G22E2		N.D	Cosechado	Cosechado
G22E3		N.D	N.D	Cosechado
G22E11		N.D	Cosechado	cosechado
G22E1		Clorpirifos	0.452	Cosechado
G22E2	0.5437		Cosechado	Cosechado
G22E3	0.5605		0.4526	Cosechado
G22E11	Malatión	0.4687	Cosechado	cosechado
G22E1		13.2753	Cosechado	Cosechado
G22E2		62.8875	Cosechado	Cosechado
G22E3		11.2573	6.0501	Cosechado
G22E11		15.2279	Cosechado	cosechado
G22E1		Paratión	17.223	Cosechado
G22E2	10.3117		Cosechado	Cosechado
G22E3	3.0963		4.1978	Cosechado
G22E11	19.4852		Cosechado	Cosechado

G= Granja, E= Estanque, N.D.= No Detectado

En general, en todas las granjas estudiadas se encontraron concentraciones más altas de los mismos insecticidas, entre ellos el p'p-DDT, p'p-DDD, p'p-DDE, endrin, dieldrin, endosulfan II, malatión y paratión.

De los insecticidas que se investigaron, aparecen como prohibidos el dieldrin y endrin. Los restringidos son lindano, metoxicloro y DDT; este último sólo puede ser utilizado en campañas sanitarias (CICLOPAFEST, 1998).

La presencia de insecticidas de uso prohibido o restringido puede deberse a la persistencia y movilidad de cada uno de ellos. Insecticidas como el DDT son muy persistentes en el ambiente (2-15 años), ya que son inmóviles en sedimentos. El DDT se degrada a productos como DDD y DDE que presentan las mismas características de persistencia y como el DDT, son fuertemente retenidos por sedimentos que contengan altas proporciones de materia orgánica (EXTOXNET, 1996), características que presentan los estanques de las granjas camaronícolas. Por otro lado, el endrin también es altamente persistente, el tiempo medio de su biodegradación puede ser de aproximadamente 14 años y su movilidad es muy poca; normalmente se encuentra en la capa superficial de los sedimentos (ATSDR, 2001). Otro insecticida muy persistente es el dieldrin llegando a presentar hasta un 10% de residuos después de 20 años (ATSDR, 2001). El endosulfán no está en el caso de los anteriores, éste es moderadamente persistente, en el caso de su  $\beta$ -isómero tiene un tiempo medio de aproximadamente 150 días dependiendo de las condiciones, por lo que puede ser que éste haya sido utilizado en tiempo más reciente; además, no está registrado como prohibido o restringido.

Los insecticidas como el DDT, endrin, dieldrin y endosulfán tienen en común el adsorberse fácilmente en las partículas orgánicas del suelo y por ello en sedimentos. De esta manera, éstos llegan al camarón de los estanques, ya que normalmente el camarón se encuentra en la profundidad del estanque; es decir entre los sedimentos, ingiriendo parte de todas las partículas orgánicas.

El malatión y paratión son insecticidas organofosforados, los cuáles se caracterizan por su baja persistencia, ya que son muy susceptibles a la fotodegradación. La presencia de éstos indica aplicaciones muy recientes. Se conoce que el paratión puede ser más persistente y tóxico; con la fotodegradación en el suelo se convierte a paraoxón, el cual es más tóxico (EXTOXNET, 1996).

El análisis estadístico en todos los casos indica que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) de la concentración de insecticidas entre los estanques muestreados. Sin embargo, si existe diferencia entre las mismas granjas con respecto al malatión y paratión. El orden de mayor a menor concentración de malatión es G1 (30.58 ng/g) > G22 (21.73 ng/g) > G2 (14.05 ng/g) > G12 (9.71 ng/g). Mientras que para el paratión es G2 (18.96 ng/g) > G22 (10.86 ng/g) > G12 (3.86 ng/g) > G1 (6.05 ng/g). La granja más cercana al canal de alimentación es la 22 por lo que, a reserva de otros estudios, es posible que debido a su ubicación haya presentado mayor concentración de estos insecticidas.

El análisis de varianza con respecto al tiempo se realizó únicamente en la granja 2, debido a que al cosecharse antes de tiempo el camarón, no se contó con muestras y



por lo tanto, la cantidad de datos para las otras tres granjas fueron insuficientes para realizar este análisis. Los resultados para la granja 2 indican que no hay diferencia significativa con respecto al tiempo ( $p > 0.05$ ). Esto da la posibilidad de que la presencia de insecticidas organoclorados, entre ellos endrin, dieldrin, p'p-DDT, p'p-DDE, p'p-DDD se deba a la residualidad de éstos en aplicaciones de años anteriores, principalmente los metabolitos del DDT, puesto que el DDT está permitido en campañas sanitarias. Sin embargo, endosulfán, malatión y paratión puede ser que sigan utilizándose para el control de insectos en los campos agrícolas cercanos, lo que podría llegar en un momento dado, a alterar el equilibrio, ya que éstos podrían ser transportados por medio de agua del colector principal hasta el estero o bien por medio de lavados agrícolas. Una vez presentes en el estero serían transportados utilizando el canal de llamada de agua ubicado en el estero La Atanasia-Sto. Domingo hacia los estanques de todas las granjas. Esto podría causar un aumento de la concentración de insecticida en camarón, provocando posibles alteraciones fisiológicas.

Por otro lado, no existen normas establecidas por la Federal Drug Administration (FDA) y la Secretaría de Salud (SSA) que especifiquen la concentración permisible de todos los insecticidas en camarón. Estas normas sólo están para el caso de dieldrin (0.3 ppm), clordano (0.3 ppm), DDT y sus metabolitos (5 ppm) y heptacloro (0.3 ppm) (FDA & EPA, 1998).

Haciendo una comparación de estas normas con los resultados obtenidos, puede observarse que las concentraciones de insecticidas encontradas están muy por debajo de

los límites permitidos para el consumo de estos productos, ya que según las normas las concentraciones permitidas están dadas de ppm mientras que en los encontrados en este estudio fueron de ppb. Sin embargo, no hay que descartar el efecto que pueden provocar los insecticidas que no están normados, como el endrin, lindano, endosulfán, clorpirifos, malatión y paratión, ya que no se sabe si los niveles son seguros, por lo que el consumo de camarón sigue siendo un riesgo potencial. Además, algunos insecticidas pueden ser bioacumulados y pudiendo llegar a presentar problemas internos en el camarón, así como para el consumidor. A nivel del productor de camarón, esto es de importancia. Los niveles están muy cercanos a concentraciones que pueden llegar a afectar la fisiología y el desarrollo adecuado del camarón. Como en el caso del lindano, DDT y malatión. Se tienen evidencias de que a concentraciones mayores a 0.45  $\mu\text{g/l}$  de lindano y 2  $\mu\text{g/l}$  de DDT, el camarón puede llegar a presentar reducción en la capacidad de osmoregulación, disminución en la velocidad de síntesis de glucógeno, aumento en la velocidad de respiración, lo que llevaría obtener menores rendimientos (Galindo y col., 2000; Galindo y col., 1996a). También está documentado que el malatión a concentraciones de 50 ppb en camarón peneido causa tasas de mortalidad del 1.8 % en 48 hr. Esto es debido a que los crustáceos no tienen la capacidad de hidrolizar al malooxón (análogo oxigenado del malatión), por lo que se debilita su capacidad de osmoregulación, disminuyen las defensas inmunológicas y procesos fisiológicos como la muda se vuelven más lentos. Esto trae como consecuencia una disminución en la sobrevivencia del camarón (Salomé, 1993). También se ha demostrado que en la etapa embrionaria VI de camarón (grass shrimp), el clorpirifos a una concentración de 0.49  $\mu\text{g/l}$ , disminuye drásticamente la

actividad colinesterasa y por ello dañar al sistema nervioso y llegar a provocar la muerte del organismo (Shanon y col., 1999; Dias, 2000).

**Rendimiento.** Aunque este análisis no estuvo dentro de los objetivos planteados para este estudio se consideró importante realizarlo, para crear un antecedente donde pudiera existir la posibilidad de establecer una relación entre la concentración de insecticida encontrado y el rendimiento en ton/ha de camarón. En las Figuras 8 y 9 se observan las gráficas de la concentración de insecticida con respecto al rendimiento. En general, puede observarse como la presencia de malatión, paratión, endosulfán, endrin, dieldrin y metabolitos del DDT, en algunos estanques, afecta el rendimiento de forma inversamente proporcional a la concentración de insecticida. Por ello, se decidió realizar un análisis de correlación de cada uno de estos insecticidas con respecto al rendimiento y valorar si existía una relación estrecha entre estas dos variables. La Figura 10 muestra dichas correlaciones. En cada una de las gráficas se observa que no existe relación entre la concentración de insecticidas encontrada y el rendimiento del camarón en cada una de las granjas muestreadas durante este tiempo. Por ello, se llevó a cabo un análisis de correlación con la concentración total de los insecticidas con respecto al rendimiento, para observar si podría haber efecto con todos los insecticidas juntos. Los resultados indican que no existe relación como se muestra en la Figura 11. Esto no elimina la posibilidad de que pueda existir una relación, ya que si la cantidad de insecticidas se incrementa en un momento dado, existe la posibilidad de que los insecticidas causen efectos negativos en el camarón. Además, puede ser que el número de datos no haya sido suficiente para poder observar una relación.

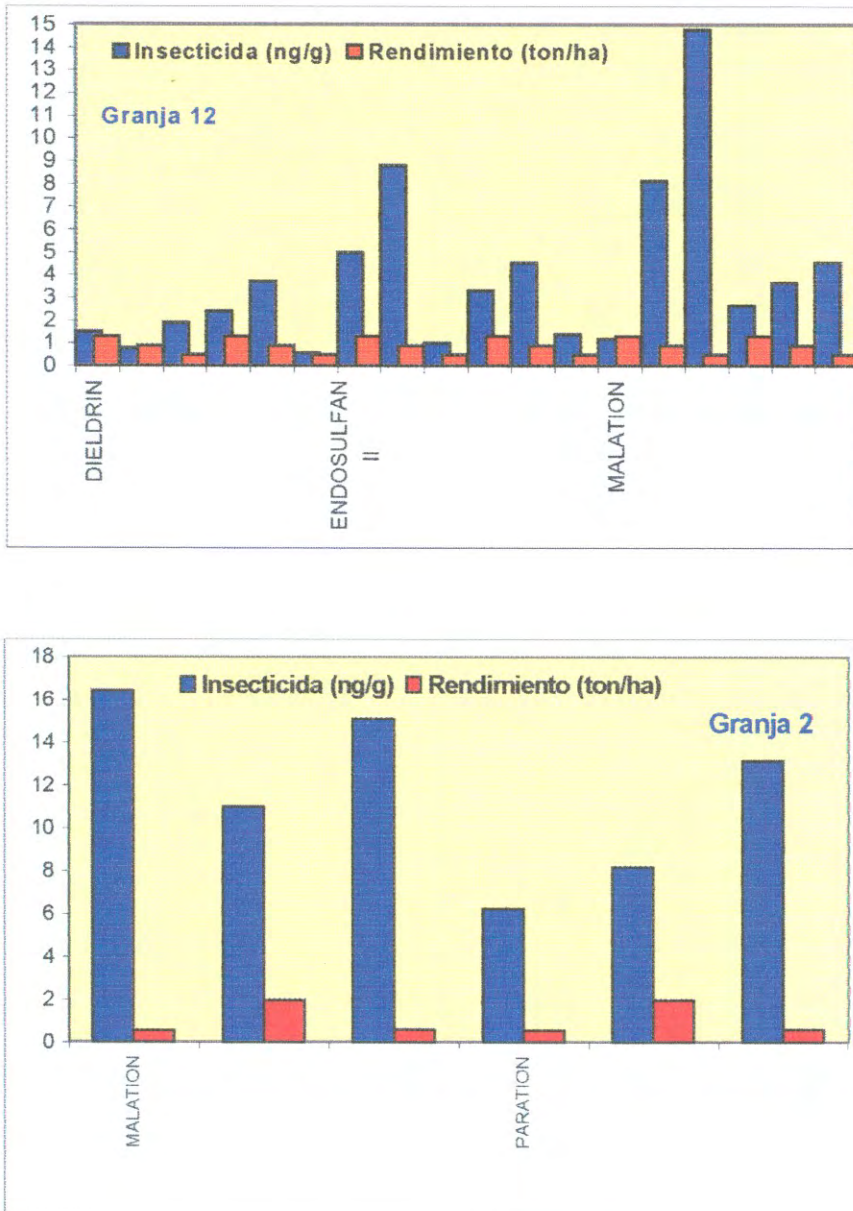


Figura 8. Concentración de insecticidas con respecto al rendimiento del camarón en las granjas 12 y 2.

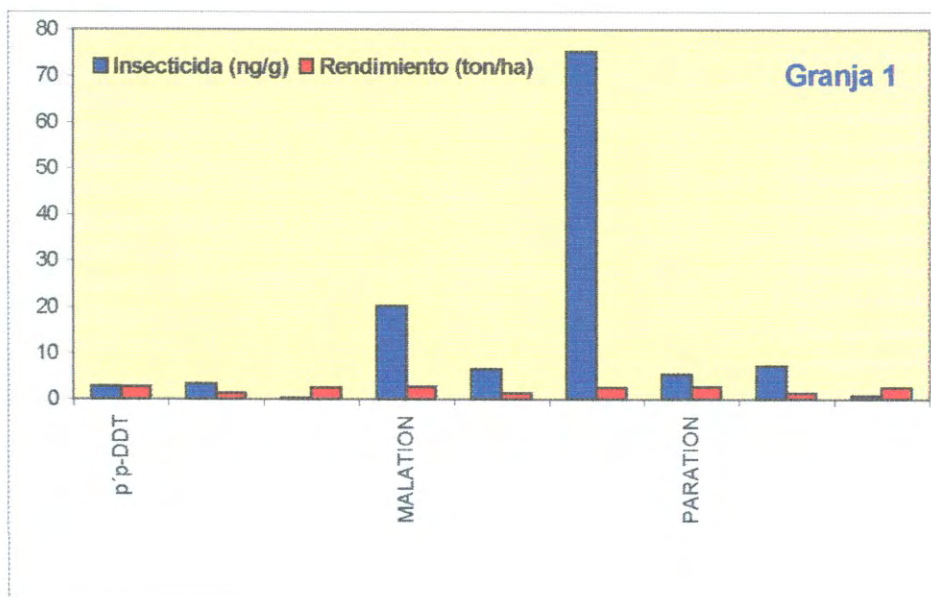
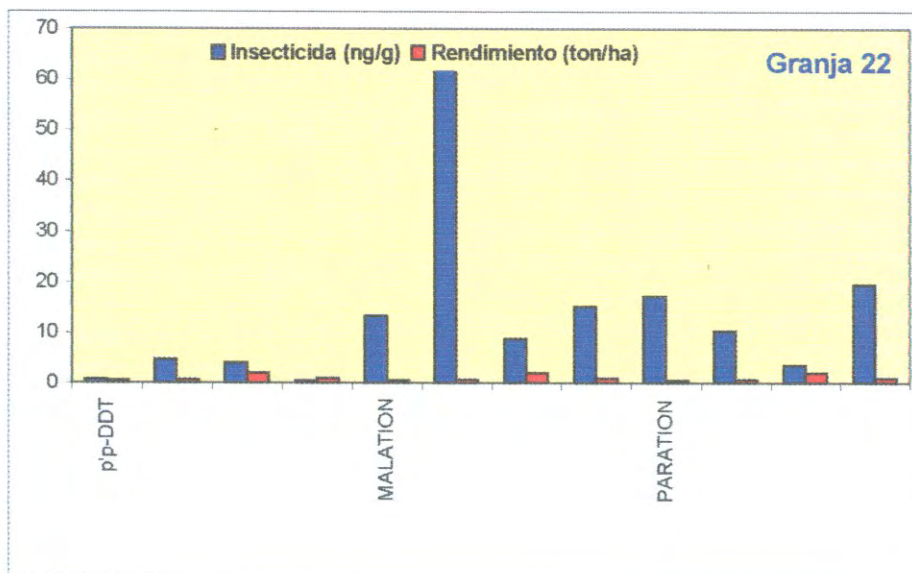


Figura 9. Concentración de insecticidas con respecto al rendimiento del camarón en las granjas 22 y 1.

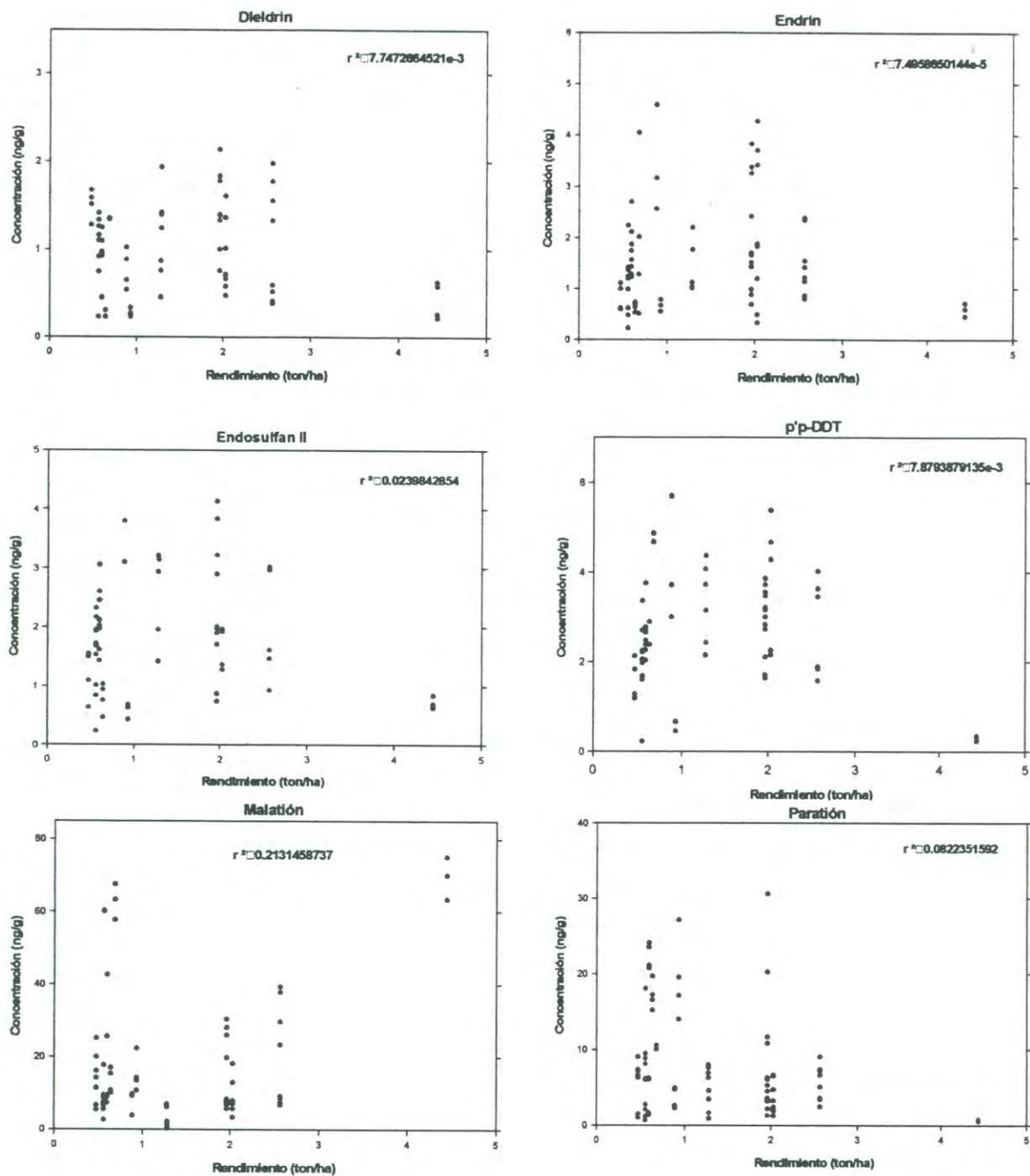


Figura 10. Correlaciones del rendimiento del camarón con respecto a la concentración de insecticidas.

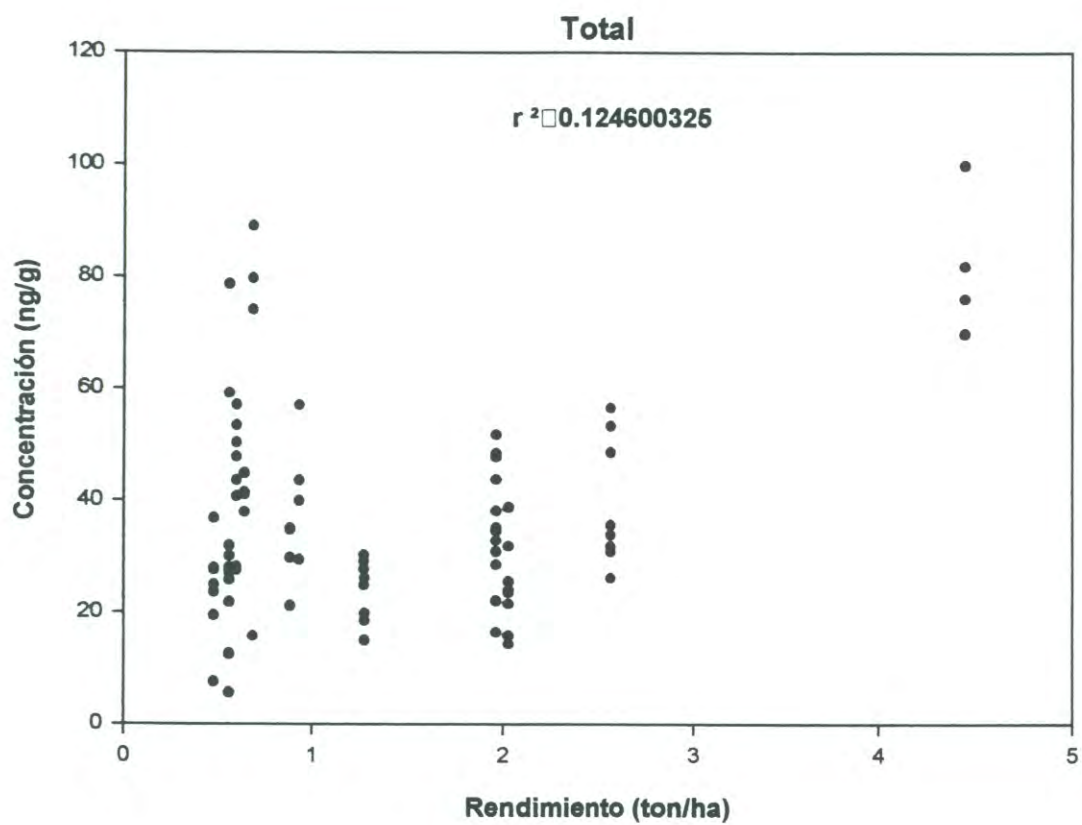


Figura 11. Correlación de la concentración total de insecticidas con respecto al rendimiento del camarón.

**Porcentaje de Supervivencia.** Al igual que en el rendimiento del camarón, dentro de los objetivos planteados no estuvo el realizar este análisis. Sin embargo, se consideró importante realizarlo para crear un antecedente de la posible relación entre las concentraciones de insecticidas encontradas el porcentaje de supervivencia; esto debido a que está documentada la posibilidad de una disminución en el porcentaje de supervivencia del camarón con la presencia de insecticidas (Galindo y col., 1999a). Las Figuras 12 y 13 muestran una comparación de la concentración de insecticidas con el porcentaje de supervivencia del camarón. Así como en el rendimiento, con insecticidas como dieldrin, endrin, endosulfán, p'p-DDT, malatión y paratión se observa una aparente relación, por lo que se realizó un análisis de correlación entre estas dos variables. La Figura 14 muestra que no existe tal relación. En la Figura 15 se muestra que no existe relación entre la cantidad total de insecticidas y la supervivencia. Es posible que la cantidad de datos obtenidos no sea suficiente como para que la correlación se observe claramente. Además, como se mencionó anteriormente, esto no quiere decir que en un futuro no pueda darse esta relación, puesto que las concentraciones de insecticidas están cercanas a los límites reportados como dañinos para el camarón y por efecto de acumulación puede ser que estas concentraciones aumenten. Por lo tanto, no puede considerarse que la presencia de insecticidas no repercutirá a nivel producción.



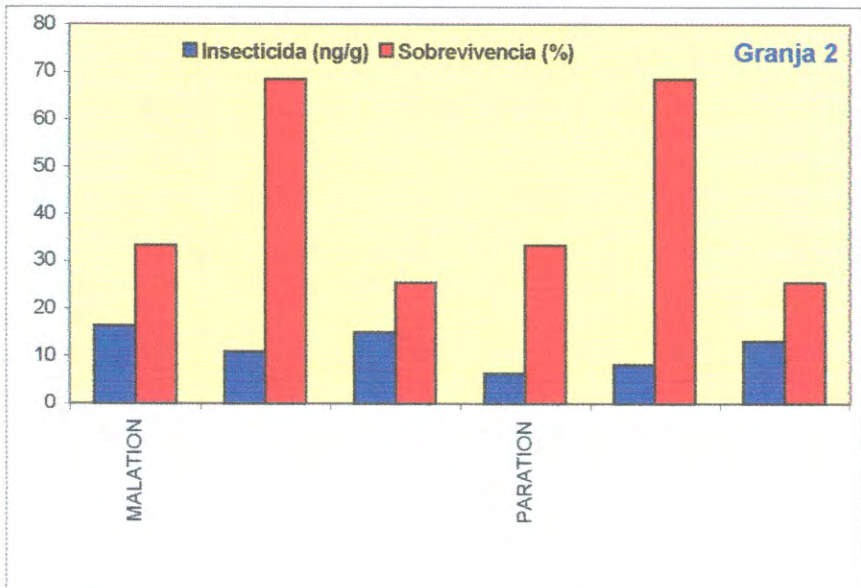
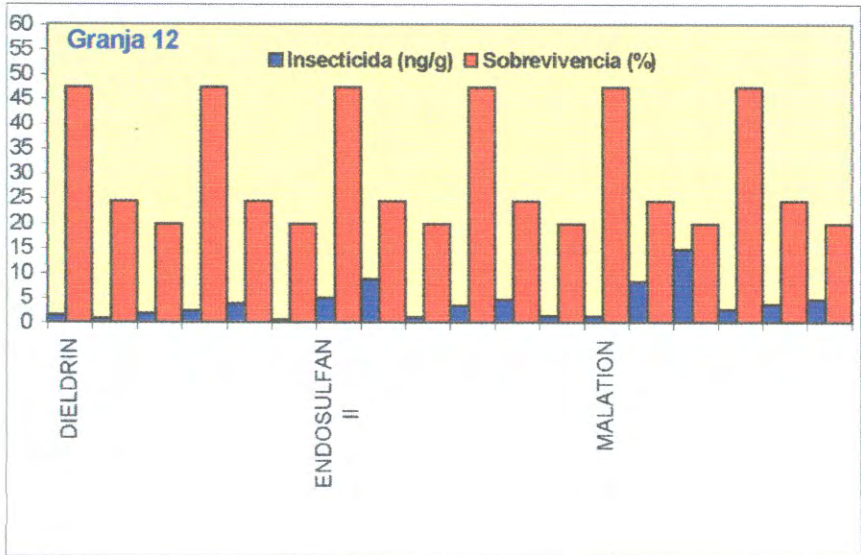


Figura 12. Concentración de insecticida con respecto al porcentaje de sobrevivencia del camarón en las granjas 12 y 2.

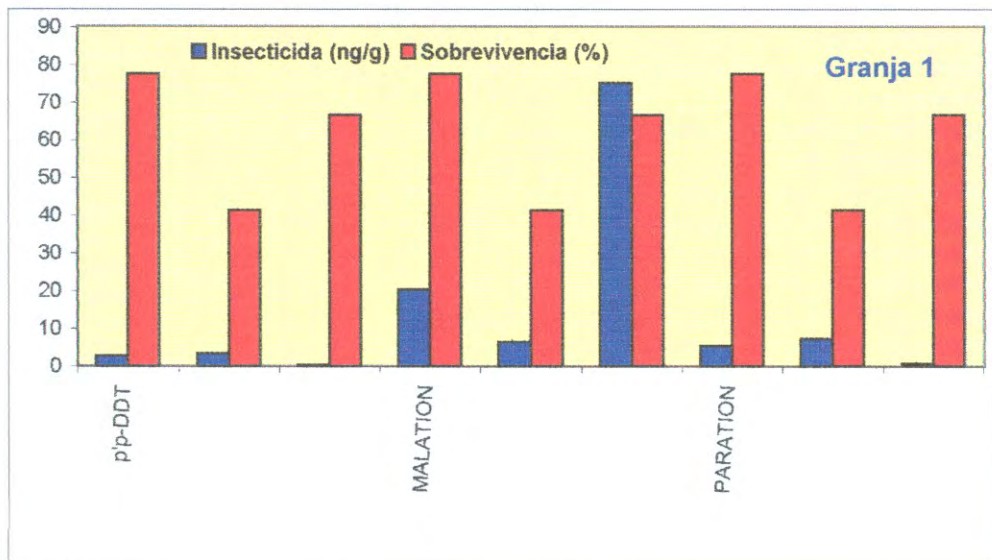
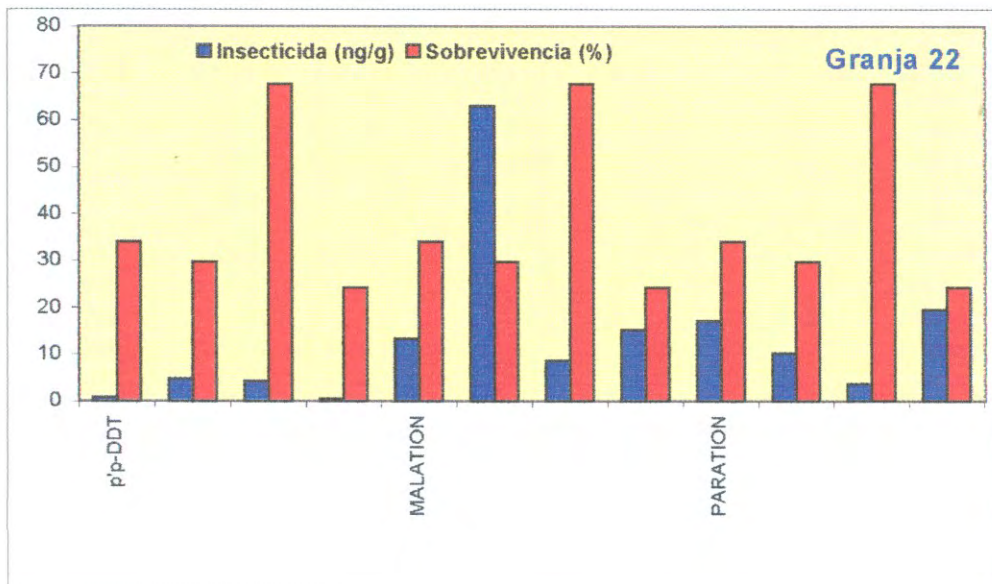


Figura 13. Concentración de insecticidas con respecto al porcentaje de sobrevivencia del camarón en las granjas 22 y 1.

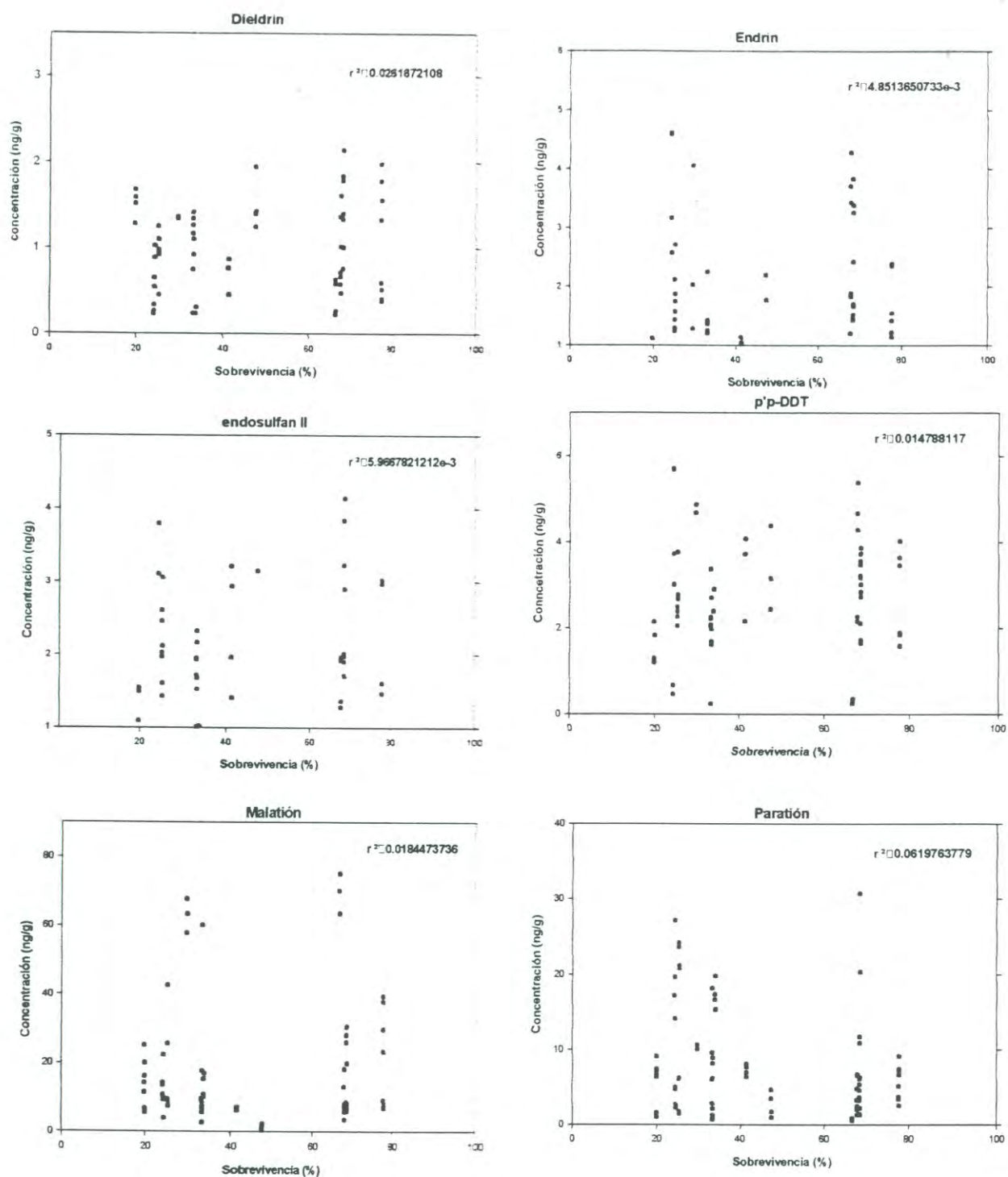


Figura 14. Correlaciones del porcentaje de sobrevivencia del camarón con respecto a la concentración de insecticidas.

**Peso.** El peso es otro de los parámetros que se analizaron como datos extras, puesto que este análisis no fue planteado dentro de los objetivos de este trabajo. En las Tablas 6, 7, 8 y 9 se muestran las concentraciones de insecticidas con respecto al peso alcanzado del camarón al momento del muestreo. Con la finalidad de obtener información referente a la posible existencia de fenómenos de acumulación o eliminación se realizó un análisis de correlación para observar si a medida que el camarón aumenta de peso, la concentración de insecticidas es mayor o menor. Según el resultado de este análisis, no se encontró relación entre estas dos variables. Sin embargo, puede ser que con la cantidad de datos disponibles, dicha relación no haya podido observarse; por lo tanto, no podría observarse si hubo una acumulación o bien una eliminación de insecticidas en el organismo a través del tiempo. Es necesario realizar estudios más específicos para poder observar objetivamente la acumulación y eliminación del insecticida en estudio. Por otro lado, el análisis de varianza practicado a las concentraciones de insecticidas a través de los meses de muestreo indica no haber diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). Si hubiera diferencia podría sospecharse entonces de una posible acumulación o bien de una eliminación. Como se mencionó anteriormente puede ser que la presencia de los insecticidas detectados durante el tiempo del estudio sea la residualidad de los mismos.

Tabla 6. Concentraciones de insecticidas y peso del camarón en la granja Rafael Buena.

Granja	Insecticida	Septiembre		Octubre	
		Concentración (ng/g)	Peso (g)	Concentración (ng/g)	Peso (g)
G12E4	Lindano	0.4594	8.76	Cosechado	
G12E12		0.3874	19.79	Cosechado	
G12E5		0.5656	8.08	0.5329	11.13
G12E4	Heptacloro	0.5396	8.76	Cosechado	
G12E12		0.6200	19.79	Cosechado	
G12E5		0.9320	8.08	0.4598	11.13
G12E4	Endosulfán I	0.8433	8.76	Cosechado	
G12E12		0.8791	19.79	Cosechado	
G12E5		0.7972	8.08	1.2015	11.13
G12E4	p'p-DDE	3.7498	8.76	Cosechado	
G12E12		2.6642	19.79	Cosechado	
G12E5		2.3368	8.08	2.4849	11.13
G12E4	Dieldrin	1.5018	8.76	Cosechado	
G12E12		0.7752	19.79	Cosechado	
G12E5		2.3368	8.08	1.4814	11.13
G12E4	Endrin	2.3882	8.76	Cosechado	
G12E12		3.7299	19.79	Cosechado	
G12E5		0.8307	8.08	0.3250	11.13
G12E4	p'p-DDD	N.D	8.76	Cosechado	
G12E12		N.D	19.79	Cosechado	
G12E5		1.9791	8.08	N.D	11.13
G12E4	Endosulfán II	4.9994	8.76	Cosechado	
G12E12		8.8367	19.79	Cosechado	
G12E5		1.3765	8.08	0.6349	11.13
G12E4	p'p-DDT	3.8187	8.76	Cosechado	
G12E12		4.5300	19.79	Cosechado	
G12E5		1.6101	8.08	1.1376	11.13
G12E4	Metoxicloro	N.D	8.76	Cosechado	
G12E12		N.D	19.79	Cosechado	
G12E5		N.D	8.08	N.D	11.13
G12E4	Clorpirifos	1.0457	8.76	Cosechado	
G12E12		0.4864	19.79	Cosechado	
G12E5		0.6725	8.08	0.6465	11.13
G12E4	Malatión	1.1855	8.76	Cosechado	
G12E12		8.1396	19.79	Cosechado	
G12E5		10.6339	8.08	18.911	11.13
G12E4	Paratión	2.6650	8.76	Cosechado	
G12E12		3.6513	19.79	Cosechado	
G12E5		3.8220	8.08	5.3106	11.13

G= Granja

E= Estanque

N.D.= No Detectado

Tabla 7. Concentraciones de insecticidas y peso del camarón en la granja Desheredados del Sirm.

Granja	Insecticida	Septiembre		Octubre		Diciembre	
		Conc. (ng/g)	Peso (g)	Conc. (ng/g)	Peso (g)	Conc. (ng/g)	Peso (g)
G2E1	Lindano	0.5555	8.00	0.6888	13.35	0.6431	14.55
G2E4		0.6875	7.60	0.4874	11.35	0.6627	14.00
G2E3		0.7001	5.65	0.4447	9.68	cosch	10.41
G2E1	Heptacloro	0.8553	8.00	0.9770	13.35	0.7723	14.55
G2E4		0.9692	7.60	0.5296	11.35	0.7695	14.00
G2E3		0.8959	5.65	0.6761	9.68	Cosech	10.41
G2E1	Endosulfán I	0.5618	8.00	2.1160	13.35	0.9096	14.55
G2E4		0.7879	7.60	0.6930	11.35	1.3044	14.00
G2E3		0.8959	5.65	0.6610	9.68	Cosech	10.41
G2E1	p'p-DDE	3.0902	8.00	3.7650	13.35	3.6491	14.55
G2E4		2.8981	7.60	3.2083	11.35	5.4718	14.00
G2E3		4.0392	5.65	2.9330	9.68	Cosech	10.41
G2E1	Dieldrin	1.1213	8.00	0.7484	13.35	1.588	14.55
G2E4		1.5225	7.60	1.4170	11.35	1.2928	14.00
G2E3		1.0981	5.65	0.7007	9.68	Cosec	10.41
G2E1	Endrin	1.1371	8.00	1.1558	13.35	1.2341	14.55
G2E4		1.3448	7.60	2.9729	11.35	1.3834	14.00
G2E3		2.1083	5.65	1.3773	9.68	Cosech	10.41
G2E1	p'p-DDD	1.8741	8.00	2.3148	13.35	2.2109	14.55
G2E4		0.803	7.60	1.9992	11.35	1.4659	14.00
G2E3		2.2101	5.65	1.8286	9.68	Cosech	10.41
G2E1	Endosulfán II	1.9717	8.00	0.6935	13.35	1.5676	14.55
G2E4		1.6207	7.60	3.5261	11.35	1.8012	14.00
G2E3		2.3777	5.65	1.9399	9.68	Cosech	10.41
G2E1	p'p-DDT	2.0921	8.00	1.3768	13.35	2.3464	14.55
G2E4		2.8933	7.60	3.5166	11.35	2.5264	14.00
G2E3		2.9291	5.65	2.3357	9.68	Cosech	10.41
G2E1	Metoxicloro	N.D	8.00	N.D	13.35	2.2164	14.55
G2E4		N.D	7.60	N.D	11.35	N.D	14.00
G2E3		N.D	5.65	N.D	9.68	N.D	10.41
G2E1	Clorpirifos	1.097	8.00	0.6529	13.35	0.8005	14.55
G2E4		0.5732	7.60	0.5488	11.35	0.6629	14.00
G2E3		0.7991	5.65	0.6008	9.68	Cosech	10.41
G2E1	Malatión	6.5834	8.00	26.8087	13.35	15.8298	14.55
G2E4		17.9561	7.60	6.3672	11.35	8.6461	14.00
G2E3		8.7036	5.65	21.4895	9.68	Cosech	10.41
G2E1	Paratión	4.049	8.00	6.9088	13.35	7.7555	14.55
G2E4		14.1921	7.60	6.9088	11.35	5.8141	14.00
G2E3		22.4041	5.65	3.8512	9.68	Cosech	10.41

G= Granja

E= Estanque

N.D.= No Detectado

Cosch= Cosechado

Tabla 8. Concentraciones de insecticidas y con el peso del camarón en la granja Remanentes del Sirm.

Granja	Insecticida	Septiembre		Octubre		Diciembre
		Conc. (ng/g)	Peso (g)	Conc. (ng/g)	Peso (g)	
G1E12	Lindano	0.5667	8.08	0.595	14.02	Cosechado
G1E13		0.736	12.00			
G1E19		0.3691	20.64			
G1E12	Heptacloro	0.757	8.08	1.1862	14.02	Cosechado
G1E13		0.9652	12.00			
G1E19		0.9299	20.64			
G1E12	Endosulfán I	0.8949	8.08	0.8034	14.02	Cosechado
G1E13		0.7609	12.00			
G1E19		0.4765	20.64			
G1E12	p'p-DDE	2.3382	8.08	2.8946	14.02	Cosechado
G1E13		2.8057	12.00			
G1E19		1.4479	20.64			
G1E12	Dieldrin	1.6636	8.08	0.4776	14.02	Cosechado
G1E13		0.6344	12.00			
G1E19		0.426	20.64			
G1E12	Endrin	1.3313	8.08	1.602	14.02	Cosechado
G1E13		1.0609	12.00			
G1E19		0.5911	20.64			
G1E12	P'p-DDD	0.5476	8.08	2.3911	14.02	Cosechado
G1E13		2.1499	12.00			
G1E19		0.5334	20.64			
G1E12	Endosulfán II	1.5381	8.08	2.3067	14.02	Cosechado
G1E13		2.3795	12.00			
G1E19		0.7097	20.64			
G1E12	p'p-DDT	2.7154	8.08	2.7703	14.02	Cosechado
G1E13		3.3141	12.00			
G1E19		0.3042	20.64			
G1E12	Metoxicloro	1.4689	8.08	N.D	14.02	Cosechado
G1E13		N.D	12.00			
G1E19		N.D	20.64			
G1E12	Clorpirifos	0.6346	8.08	0.6717	14.02	Cosechado
G1E13		0.6076	12.00			
G1E19		0.6956	20.64			
G1E12	Malatión	32.5776	8.08	7.9664	14.02	Cosechado
G1E13		6.4727	12.00			
G1E19		75.2944	20.64			
G1E12	Paratión	3.3314	8.08	7.5822	14.02	Cosechado
G1E13		7.237	12.00			
G1E19		0.6623	20.64			

G= Granja

E= Estanque

N.D.= No Detectado

Tabla 9. Concentraciones de insecticidas y peso del camarón en la granja Enrique Landa.

Granja	Insecticida	Septiembre		Octubre		Diciembre
		Conc. (ng/g)	Peso (g)	Conc. (ng/g)	Peso (g)	
G22E1	Lindano	0.5712	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2		0.3691	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3		0.4123	4.56	0.5146	10.41	Cosechado
G22E11	Heptacloro	0.6622	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1		0.9054	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2		1.2143	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3	Endosulfán I	0.7089	4.56	0.5601	10.41	Cosechado
G22E11		1.101	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1		0.5561	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2	p'p-DDE	0.4458	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3		0.9162	4.56	1.0969	10.41	Cosechado
G22E11		0.3021	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1	Dieldrin	2.9831	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2		1.924	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3		3.2631	4.56	2.6823	10.41	Cosechado
G22E11	Endrin	2.5253	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1		0.2695	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2		1.3511	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3	p'p-DDD	0.6862	4.56	1.232	10.41	Cosechado
G22E11		0.2746	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1		0.6526	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2	Endosulfán II	1.9668	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3		1.5777	4.56	1.5777	10.41	Cosechado
G22E11		0.6701	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1	p'p'-DDT	2.389	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2		0.0000	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3		1.099	4.56	1.242	10.41	Cosechado
G22E11	Metoxicloro	2.4015	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1		0.8096	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2		6.0085	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3	Clorpirifos	1.3202	4.56	1.9424	10.41	Cosechado
G22E11		0.5794	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1		0.8096	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2	Malatión	4.7689	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3		4.9055	4.56	3.3397	10.41	Cosechado
G22E11		0.5279	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1	Paratión	N.D.	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2		N.D.	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3		N.D.	4.56	N.D.	10.41	Cosechado
G22E11	Clorpirifos	0.0000	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1		0.452	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2		0.5437	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3	Malatión	0.5605	4.56	0.4526	10.41	Cosechado
G22E11		0.4687	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1		13.2753	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2	Paratión	62.8875	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3		11.2573	4.56	6.0501	10.41	Cosechado
G22E11		15.2279	17.19	Cosech		Cosechado
G22E1	Paratión	17.223	6.68	Cosech		Cosechado
G22E2		10.3117	5.95	Cosech		Cosechado
G22E3		3.0963	4.56	4.1978	10.41	Cosechado
G22E11		19.4852	17.19	Cosech		Cosechado

G= Granja, E= Estanque, N.D.= No Detectado, Cosch= Cosechado



## Agua

La Tabla 10 muestra la concentración de insecticidas encontrados en agua del estero La Atanasia – Sto. Domingo. Los insecticidas que se encontraron en mayor concentración fueron el endosulfán, 4'4-DDE, clorpirifos, malatión y paratión. El análisis de varianza indica que existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre la concentración de insecticida con respecto al tiempo. La concentración de endosulfán I aumentó de 9.5291 ng/ml en octubre a 28.3066 ng/ml en diciembre, el endosulfan II aumentó de un nivel no detectable en octubre a 3.862 ng/ml en diciembre, mientras que el malatión en octubre no se detectó y en diciembre se encontraron 10.4649 ng/ml. El paratión disminuyó de octubre (53.9138 ng/ml) a diciembre (4.6784 ng/ml). Insecticidas como el malatión, paratión y endosulfán también fueron los que presentaron mayores niveles en camarón. Estos insecticidas por sus características de persistencia es posible que hayan sido aplicados en los campos agrícolas cercanos durante esos meses. En el caso del endosulfán, este es un insecticida organoclorado poco soluble en agua, el hecho de haberlo detectado indica que aún no había sido absorbido por partículas orgánicas y dependiendo del pH del agua puede degradarse en 5 semanas (pH neutro) o hasta en 5 meses (pH ácido) (EXTOXNET, 1996).

La concentración de insecticidas en agua, en la mayoría de los casos fueron mayores que en el camarón. Esto sugiere que es posible que estas concentraciones estén disminuyendo por efecto de dilución, ya que al estero entra agua del dren colector y agua de la costa por la boca la Atanasia. Además, podría ser que la cantidad de

Tabla 10. Concentración de insecticidas encontrados en agua del estero La Atanasia Santo Domingo.

Insecticida	Octubre (ng/ml)	Diciembre (ng/ml)	Limite permisible (NRWQC) ng/ml
Lindano	0.9793	1.0227	----
Heptacloro	0.8984	0.9712	53
Endosulfan I	9.5291	28.3066	34
p'p-DDE	3.296	N.D.	1300
Dieldrin	N.D.	0.5143	710
Endrin	N.D.	1.2078	37
p'p-DDT	N.D.	3.862	1300
Metoxicloro	N.D.	N.D.	30
Endosulfan II	N.D.	3.6298	34
Clorpirifos	3.5075	0.6224	----
Malatión	N.D.	10.4649	----
Paratión	53.9138	4.6784	----

N.D.= No Detectado

NRWQC= National Recommended Water Quality Criteria (1998)

insecticida que ingirió el camarón no fue suficiente para acumularla. Actualmente la boca se está solvando (Atanasia, 2000), lo que provoca menos entrada de agua de mar y como consecuencia puede ser que más adelante la concentración de insecticidas en el estero vaya aumentando poco apoco y con ello también la cantidad ingerida por el camarón.

En 1989 se detectaron metabolitos del DDT, dieldrin, endrin, heptacloro y lindano en muestras de agua del estero La Atanasia – Sto. Domingo (ITSON, 1989). Los niveles detectados fueron mayores a los encontrados actualmente. Puede ser que este tipo de insecticidas, de los cuales algunos están prohibidos, hayan dejado de utilizarse y sólo queden residuos por efecto de dilusión o de arrastre por erosión de la tierra hacia el dren colector que desemboca en el estero.

Según los límites recomendados por la National Recommended Water Quality Criteria (NRWQC, 1998), las concentraciones de insecticidas encontradas en agua del estero La Atanasia – Sto. Domingo estan por debajo de norma, pero por el problema de solvación de la boca La Atanasia, los niveles de insecticidas podrían aumentar.

### **Sedimentos**

La Tabla 11 muestra las concentraciones de insecticidas detectadas en sedimentos. Los insecticidas en mayor concentración fueron los metabolitos del DDT, dieldrin, endrin y endosulfán II. Los insecticidas anteriores, coinciden también como mayoritarios en camarón; sólo que en sedimentos la concentración es mayor, excepto

Tabla 11. Concentración de insecticidas encontrados en sedimentos del estero la Atanasia Sto.- Domingo.

<b>Insecticida</b>	<b>Octubre (ng/g)</b>	<b>Diciembre (ng/g)</b>	<b>Límite permitido USEPA (µg/kg)</b>
Lindano	1.6513	1.4237	370
Heptacloro	3.503	4.6237	----
Endosulfán I	0.5308	0.9745	290
p'p-DDE	5.3608	7.4994	----
Dieldrin	11.7677	10.3911	----
Endrin	13.6676	8.4955	----
p'p-DDD	38.0549	81.2597	----
Endosulfán II	15.7714	30.6281	1400
p'p-DDT	8.6989	7.7719	----
Metoxicloro	N.D.	N.D.	----
Clorpirifos	4.9378	6.9652	----
Malatión	6.9888	7.4659	67
Paratión	1.5156	1.6951	----

N.D.= No Detectado

USEPA= United States Environmental Protection Agency (1999)

para los organofosforados, que por su solubilidad, éstos pueden encontrarse en mayor cantidad disueltos en el agua. A diferencia, los organoclorados son más persistentes y más fácilmente adsorbidos por las partículas orgánicas que se encuentren en el medio.

Según el análisis de varianza existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en concentración de un muestreo a otro. El p'p-DDD y endosulfán aumentan su concentración de octubre a diciembre. Para el caso del endosulfán, que presentó el mismo comportamiento en agua podría ser que éste haya sido aplicado en los campos agrícolas en períodos muy recientes. La degradación del DDT puede observarse en las concentraciones de sus metabolitos estudiados. Está documentado que éstos tienen un comportamiento muy similar al DDT y pueden acumularse en la capa superficial de los sedimentos donde existe bastante materia orgánica; esto debido a alguna aplicación anual que se haya hecho (EXTOXNET, 1996).

Comparando los resultados con un estudio realizado en la bahía de Ojuira en Sinaloa (Galindo y col., 2000), el nivel de endosulfán encontrado en el estero Atanasia – Sto. Domingo es más bajo (23.2 ng/g) que el encontrado para la bahía de Ojuira (48 ng/g). El autor concluye que la bahía está en una etapa primaria de contaminación, lo cual sugiere que en cuanto al endosulfán, el estero La Atanasia-Sto. Domingo no se encuentra aún muy contaminado.

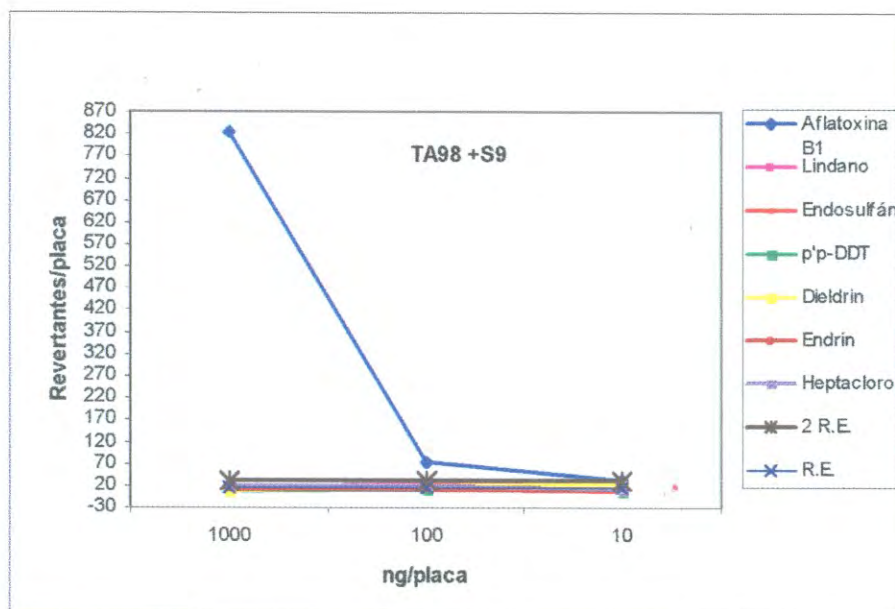
En 1989, se realizó un estudio en el estero La Atanasia – Sto. Domingo. Entre los insecticidas detectados en sedimentos que coinciden con la presente investigación están

el dieldrin, endrin, heptacloro, lindano y p'p-DDE (ITSON, 1989). Solo que éstos presentaron concentraciones más altas, lo que sugiere la degradación gradual de éste tipo de insecticidas con el tiempo. Además, puede ser que exista algún efecto de dilución con el tiempo debido a la entrada de agua de mar al estero.

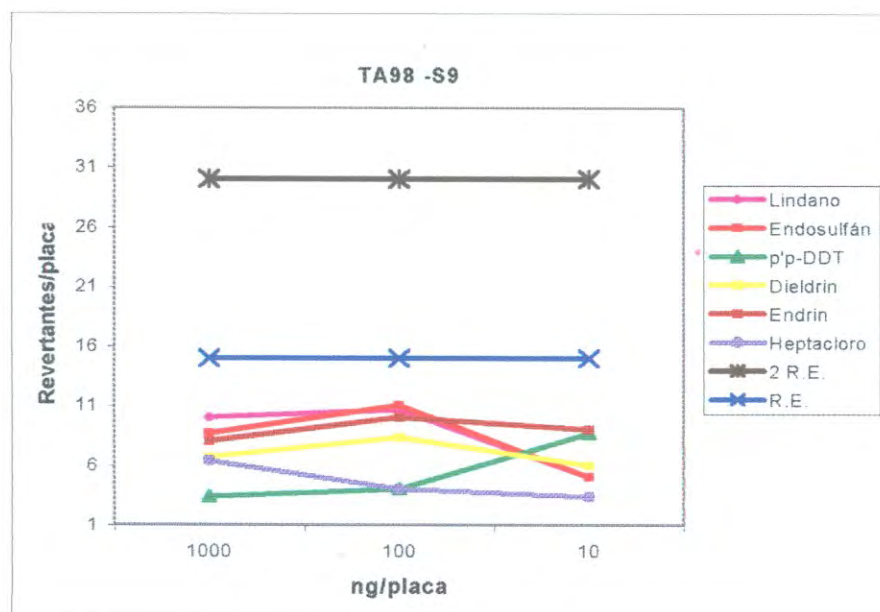
Según la U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), los niveles permisibles de insecticidas en sedimentos (Sediment Quality Advisory Level, SQAL), para endosulfán I y II, lindano y malatión son de 290, 1400, 370 y 67  $\mu\text{g}/\text{kg}$  respectivamente (Nowell y col., 1999); Estos niveles están muy por encima de los encontrados en este estudio. Sin embargo, no se encontraron niveles para otros insecticidas, por lo que no puede considerarse si cumplen o no con lo recomendado.

### **Mutagenicidad**

Los ensayos de mutagenicidad se llevaron a cabo con el fin de conocer si a las concentraciones de insecticida encontradas en camarón, podría existir riesgo de genotoxicidad que pusiera en peligro la salud del consumidor; debido a la exposición de insecticidas por ingesta de camarón. Los ensayos se llevaron a cabo en los estándares de insecticidas detectados, ya que según la literatura algunos de ellos pueden ser mutagénicos, así como en una mezcla de todos ellos para observar si todos los insecticidas juntos podrían tener un efecto mutagénico. Las Figuras 16 y 17 muestran los

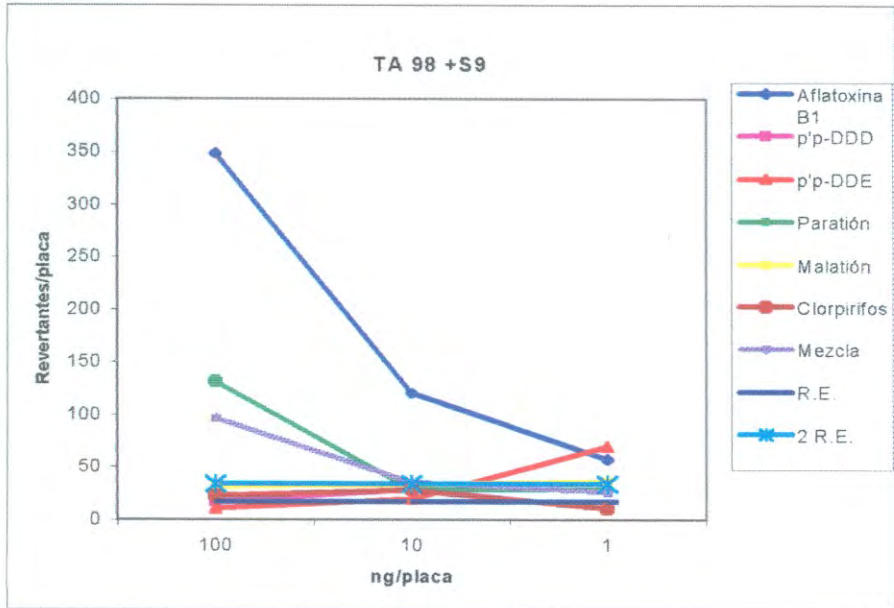


R.E.= Revertantes espontáneas

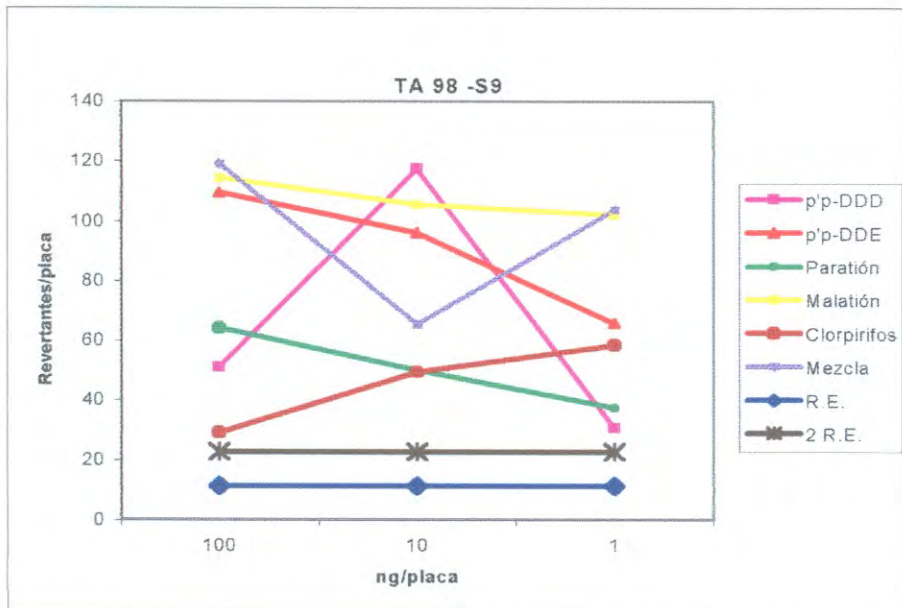


R.E.= Revertantes espontáneas

Figura 16. Potencial mutagénico de lindano, endosulfán, p'p-DDT, dieldrin, endrin y heptacloro utilizando *Salmonella typhimurium* TA 98 con (+S9) y sin (-S9) activación metabólica



R.E. = Revertantes espontáneas



R.E. = Revertantes espontáneas

Figura 17. Potencial mutagénico de p'p-DDD, p'p-DDE, paratión, malatión y clorpirifos utilizando *Salmonella typhimurium* TA 98 con (+S9) y sin (-S9) activación metabólica



resultados de los estándares de insecticidas con la bacteria *Salmonella typhimurium* TA 98 con y sin activación metabólica (S9). Los estándares que resultaron ser mutagénicos sin mezcla metabólica, éstos incluyen al paratión (100 ng/placa), malatión (100 ng/placa), p'p-DDE (100 ng/placa), p'p-DDD (10 ng/placa), clorpirifos (10 ng/placa) y la mezcla de todos los insecticidas (100 ng/placa). El hecho de que no necesiten ser bioactivados; es decir, que no requieran de enzimas microsomales para inducir a un efecto mutagénico, sugiere que es posible que el insecticida tal cual pudiera ser mutagénico directo por vías de entrada al organismo tales como dermal, inhalatoria, oral, etc. En cuanto a los estándares que resultaron ser mutagénicos en este ensayo con activación metabólica (S9), fueron paratión (100ng/placa) y la mezcla de todos los estándares (100 ng/placa). Esto sugiere que una vez en el organismo, estos insecticidas son bioactivados por enzimas microsomales del hígado, adquiriendo un efecto mutagénico. En organismos marinos, los insecticidas pueden ser biotransformados por diferentes caminos que involucran múltiples enzimas. Las más importantes son oxidasas microsomales, especialmente la citocromo P450 monooxigenasa (Nowell y col., 2000). Como puede observarse en la Figura 17, los insecticidas como malatión, clorpirifos y metabolitos del DDT, con la activación metabólica aparentemente ya no presentaron efecto mutagénico. Esto sugiere la posibilidad de que este tipo de compuestos una vez en el hígado de alguna forma pudieran ser detoxificados por acción enzimática.

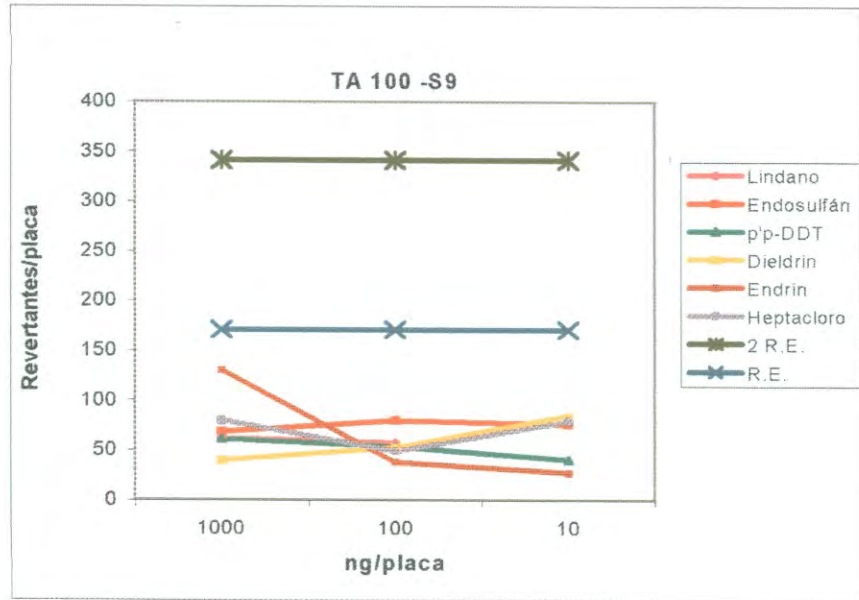
Los resultados sobre mutagenicidad en todos los casos coinciden con lo encontrado en la literatura (CCRIS, 2001); solo que para los metabolitos del DDT aún

existen resultados no muy bien definidos, puesto que se menciona que 1 de cada 11 ensayos en cultivos celulares es positivo, mientras que en ensayos in vitro 8 de cada 12 casos resultan ser positivos (EXTOXNET, 1996; ATSDR, 2000).

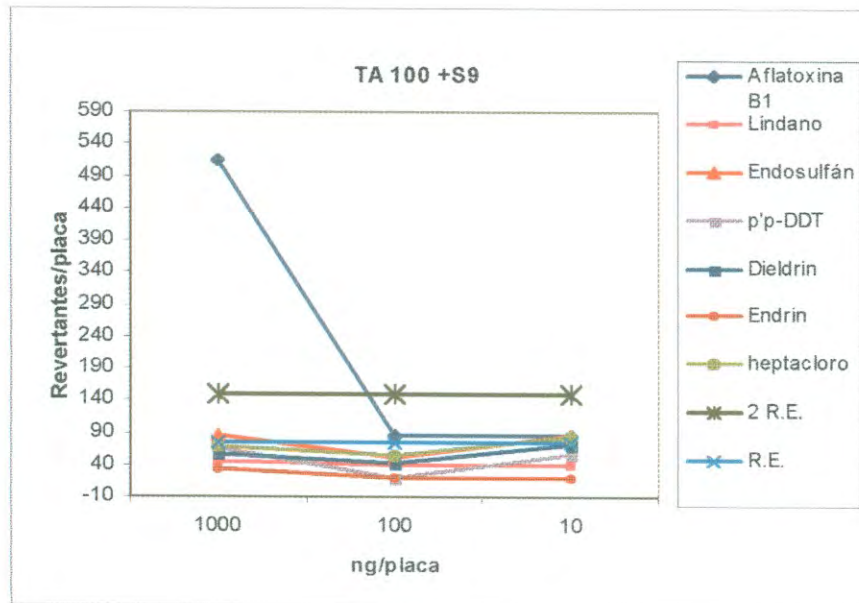
Las Figuras 18 y 19 muestran los resultados obtenidos con la cepa *Salmonella typhimurum* TA 100 con y sin activación metabólica. Ninguno de los estándares fue mutagénico en este ensayo. Estos resultados coinciden con lo reportado en la literatura (CCRIS, 2001).

El hecho de que algunos estándares no hayan sido mutagénicos en el ensayo de Ames no quiere decir que no lo sean, sino que solamente con estas cepas y en las condiciones establecidas, no lo fueron. Puede ser que en otras condiciones, con otras cepas y otros modelos de prueba estos insecticidas resulten ser positivos, como el caso del endosulfán que es mutagénico con la bacteria *Salmonella typhimurium* TA 1535/pK1002, sin activación metabólica y que no fue utilizada en este estudio.

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos en las muestras de camarón que se seleccionaron de cada una de las granjas. Como se observa en las figuras 20 y 21, ninguna de las muestras analizadas resultó ser mutagénica utilizando las cepas *Salmonella typhimurium* TA 98 y TA 100 con y sin activación metabólica. Posiblemente las concentraciones de insecticidas detectadas en camarón no fueron suficientes para causar este efecto ya que se necesitarían concentraciones desde 200 ppb de insecticida para poder provocarlo, los cuáles no se encontraron en esa proporción en el camarón estudiado. Puede ser que si en el futuro el camarón llegara a alcanzarla, éste sería un

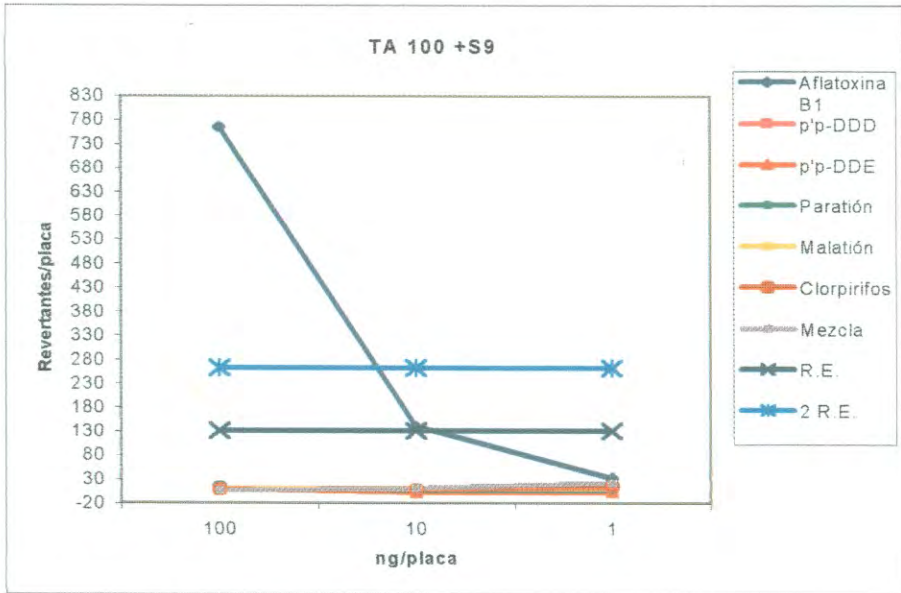


R.E.= Revertantes espontáneas

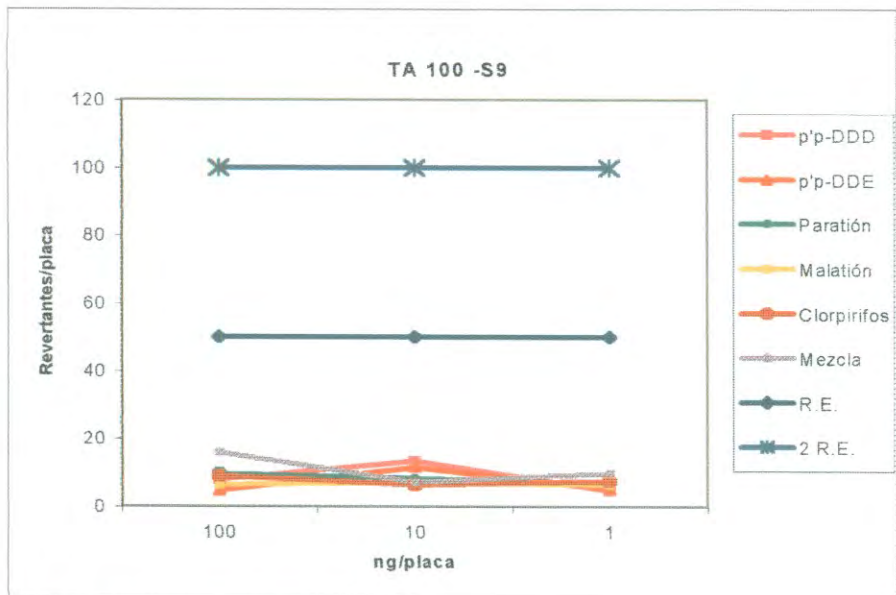


R.E.= Revertantes espontáneas

Figura 19. Potencial mutagénico en lindano, endosulfán, p'p-DDT, dieldrin, endrin y heptacloro utilizando *Salmonella typhimurium* TA 100 con (+S9) y sin (-S9) activación metabólica

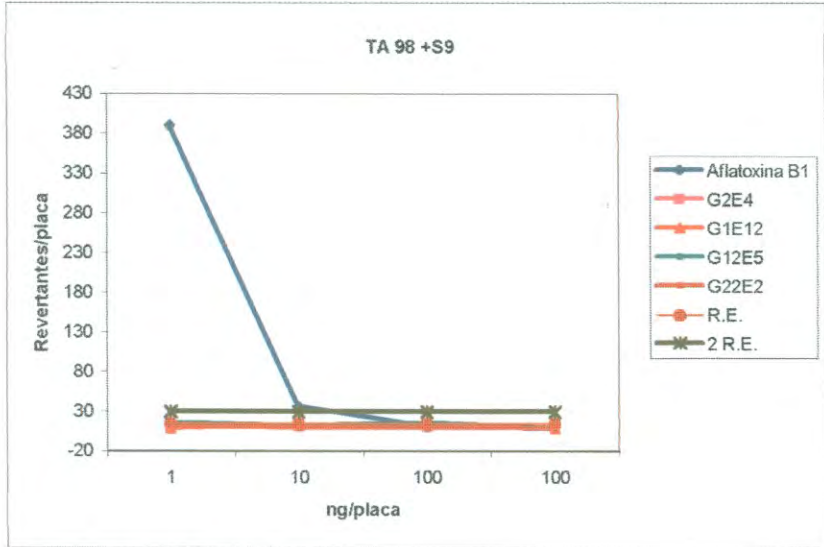


R.E.= Revertantes espontáneas

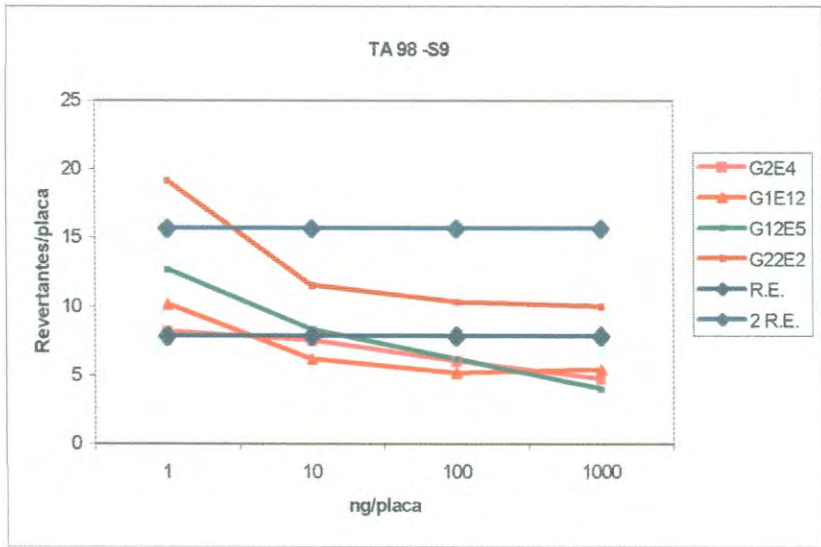


R.E.= Revertantes espontáneas

Figura 18. Potencial mutagénico de p'p-DDD, p'p-DDE, paratión, malatión, clorpirifos y mezcla de insecticidas utilizando *Salmonella typhimurium* TA 100 con (+S9) y sin (-S9) activación metabólica

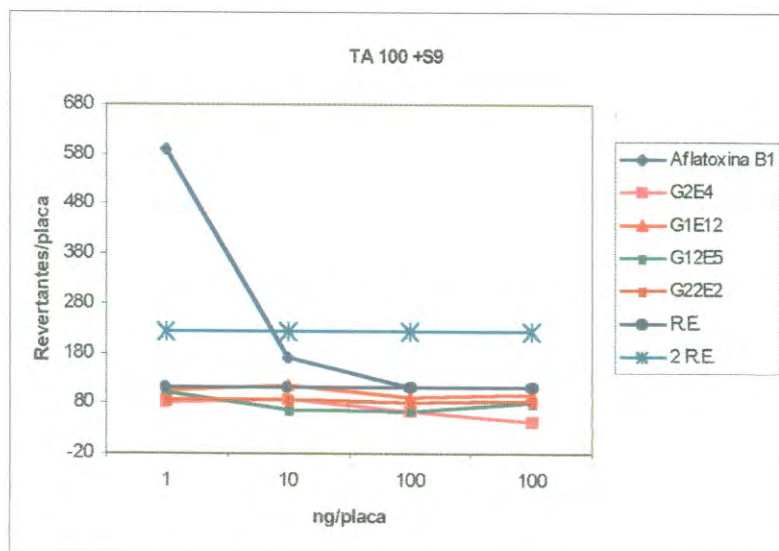


R.E.= Revertantes espontáneas

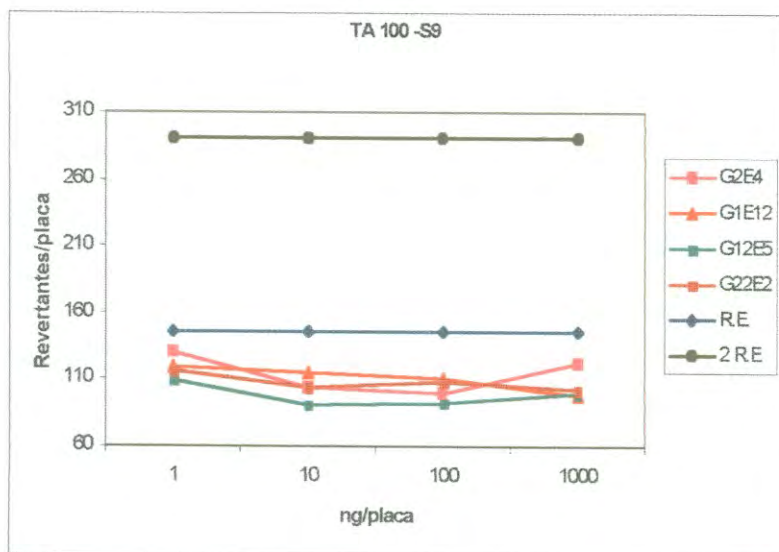


R.E.= Revertantes espontáneas

Figura 20. Potencial mutagénico en extractos de músculo de camarón de las granjas (G) y estanques (E) estudiados utilizando *Salmonella typhimurium* TA 98 con (+S9) y sin (-S9) activación metabólica



R.E.= Revertantes espontáneas



R.E.= Revertantes espontáneas

Figura 21. Potencial mutagénico en extractos de músculo de camarón de las granjas (G) y estanques (E) estudiados utilizando *Salmonella typhimurium* TA 100 con (+S9) y sin (-S9) activación metabólica.

alimento potencialmente tóxico para el consumidor, aunque a esas concentraciones el camarón tendría efectos irreversibles inmediatos.

En general, en las condiciones actuales del camarón de cultivo del complejo acuícola, el contenido de insecticidas encontrado en él no tuvo ningún efecto genotóxico en las pruebas realizadas durante este estudio. Lo que sugiere que actualmente el camarón no es genotóxico para el humano.

## CONCLUSIONES

Las concentraciones más altas de insecticidas en camarón fueron dieldrin, endrin, endosulfán, malatión, paratión y metabolitos del DDT. En agua los niveles más altos fueron para endosulfán, malatión y paratión; mientras que en sedimentos fueron dieldrin, endrin, endosulfán y metabolitos del DDT.

Los niveles de dieldrin, heptacloro y metabolitos del DDT encontrados en camarón estuvieron por debajo de las normas de la FDA. Esto sugiere una posible seguridad en el consumo de camarón en lo referente a estos insecticidas. Por otro lado no existen normas para lindano, endosulfán, endrin, malatión, paratión y clorpirifos. Al no conocerse los límites permisibles, probablemente pudiera existir un peligro potencial en el consumo de camarón en lo referente a estos insecticidas.

En base a los resultados obtenidos se concluye que la presencia de insecticidas organoclorados, excepto el endosulfán, es debido a su residualidad. Esto sugiere que es posible que los insecticidas permanezcan por debajo de lo permisible durante mucho tiempo, si éstos no se volvieran a aplicar.

Los niveles de insecticidas en agua y sedimentos están por debajo de las normas que dictan la NRWQC y USEPA respectivamente. Lo que sugiere que aún pueden plantearse soluciones para que la concentración de insecticidas no aumente.

Debido a las condiciones en las que se encuentra actualmente el estero la Atanasia – Sto. Domingo, se concluye que existe la posibilidad de que la concentración de insecticidas aumente. Esto sugiere que en un futuro puede presentarse riesgo de contaminación del camarón y por lo tanto para el consumidor del mismo.



En base a los resultados de las pruebas de mutagenicidad, se concluye que las muestras de camarón estudiadas no son genotóxicas para *Salmonella typhimurium* TA 98 y TA 100. Esto sugiere que en las condiciones actuales, el camarón no es genotóxico para el humano.

## RECOMENDACIONES

Cuantificar los insecticidas presentes en agua, sedimentos y el camarón de cada uno de los estanques para calcular un estimado de la cantidad de insecticida bioacumulado o eliminado por el camarón en su sistema.

Cuantificar insecticidas presentes en la cutícula y cabeza del camarón y realizar una comparación para determinar los niveles totales de insecticidas.

Determinar de manera más exhaustiva las concentraciones de insecticidas de los estanques y nuevamente estimar si existe alguna relación de la concentración de insecticidas con respecto al porcentaje de sobrevivencia, rendimiento y peso.

Utilizar otras metodologías para el estudio de la capacidad genotóxica de los insecticidas involucrados en este estudio, ya que se sospecha que el endosulfán se está aplicando y la literatura lo reporta como mutagénico.

Procurar que la afluencia del agua de la costa sea mayor que la del estero, debido a que el colector principal #1 desemboca al estero, el cual puede ser que una fuente importante de contaminación.

## REFERENCIAS

- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. 1998. Manual de Entrenamiento para Laboratorio de Pesticidas. Clifton e. Meloan (Ed.), pp. 358-359.
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. 1999. Methods of Analysis of AOAC International. 16 th edition. Vol. I. Chapter 10.
- Abbassy M. S. 2000. Pesticides and Polychlorinated biphenyls Drained into Nort Coast of the Mediterranean Sea. Egypt. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 64:504-517.
- Ames B. N., and McCann J. 1981. Validation of the Salmonella test: A Reply to Rinkus and Legator. Cancer Res. 41:4192-4196.
- Ames B. N., McCann J. and Yamasaki. 1975. Methos for Detecting Carcinogens and Mutagens with the Salmonella/Mamalian-Microsome Mutagenicity Test. Mutation Res. 72:347-364.
- APHA-AWWA-WPCF.1989. Estándard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Madrid Spain. Pp. 6-171
- Atanasia. 2000. Comejo Acuícola "La Atanasia". Comunicación Personal

ATSDR. 2001. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

<http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html#-D->

Botello A. V. , Rueda L., Díaz., Toledo A. 2000. Persistent Organochlorine Pesticides in Coastal Lagoons of the Subtropical Mexican Pacific. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 64:390-397.

Caldas E. D., Coelho R., Souza L., Silva S. 1999. Organochlorine Pesticides in water, sediment, and Fish Paranoá Lake of Brasilia, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 62:199-206.

CCRIS. *Chemical Carcinogenesis Research Information.* 2001.  
<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?CCRIS>

CICOPLAFEST 1994. *Comisión Intersecretarial para el Control de Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas.* Catálogo Oficial de Plaguicidas. México D. F.

CICOPLAFEST 1998. *Comisión Intersecretarial para el Control de Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas.* Catálogo Oficial de Plaguicidas. México D. F.

Dias A. 2000. Biochemical Responses in Peneids Caused by Contaminants. *Aquaculture* V. (191) 163-168.

EPA. 1972. Water Quality Criteria. *Environmental Agency*, EPA R-73-003, 1973 (76-80-182-186). Washington, D. C. (186).

EXTOXNET. Extension Toxicology Network. 1996.  
<http://ace.orst.edu/info/extoxnet/pips/pips.html>

FDA & EPA guidalance levels. 1998. U.S. Food & Drug Administration. Center for Food Safety & Aplied Nutrition. Fish and Fishery Products. Hazards and Controls Guide. Apendix 5.

Food and Agriculture Organization. International Atomic Energy Agency. 1991.  
Laboratory Training Manual on the Use of Nuclear and Associates Techniques in Pesticide Research.

Forget G. 1991. Pesticides and the Third World. *Journal of Toxicology and Envinonmental Health*. 32:11-31.

- Galindo G., Dalla L., Lazcano G., and Rivas H. 2000. Enzymatic and Osmoregulative Alterations in White Shrimp *Litopenaeus vannamei* exposed to pesticides. *Chemosphere*. V. (40): 233-237.
- Galindo G., Villagrana L., and Lazcano G. 1999 a. Environmental Conditions and Pesticide Pollution of Two Coastal Ecosystems in the Gulf of California, México. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 44:280-286.
- Galindo G., Fossato V. U., Villagrana C. and Dolci F. 1999 b. Pesticides in Water, Sediments and Shrimp from a Coastal lagoon off the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*. V. (38): 837-841.
- Galindo G., Medina A., Villagrana C., and Ibarra L. 1997. Environmental and Pollution Condition of Huizache-Caimanero Lagoon, in the North-west of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. V. (34):1072-1077.
- Galindo G., Medina A., Villagrana C. 1996 a. Physical and Biochemical Changes in Shrimp Larvae (*Penaeus vannamei*) Intoxicated with Organochlorine Pesticides. *Chemosphere*. (32): 872-875.

- Galindo G., Medina A., Villgrana C. 1996 b. Toxic Effects of Organochlorine Pesticides on *Penaeus vannamei* Shrimps in Sinaloa México. *Chemosphere*. V. (33): 567-575.
- Galindo G., Mexia J., Heredia L. 1987. Contaminación en el Camarón. Niveles y Tipos de Contaminación por Plaguicidas en el Camarón (*Penaeus* sp.) y en el Agua del Estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. *Boletín Ciencias del Mar*. 9:32-36.
- García B. M. y Meza M..M. 1991. Principales vías de contaminación por plaguicidas en neonatos lactantes residentes en Pueblo Yaqui, Sonora, México. Instituto Tecnológico de Sonora. *D.I.E.P*. V. (1):33-42.
- González R. y Alvarado J. 1996 Efectos Tóxicos de los Plaguicidas Agrícolas en el Estado de Yucatan. En *La Toxicología en México, Estado Actual y perspectivas* Editado por Albert L.A. y Saldívar L. *Sociedad Mexicana de Toxicología*.
- Green M., Hur B., Gordin S. And rosenthal I. 1980. Application of Mutagenicity Test for Milk. *Journal of Dairy Science*. V. (63): 358-361.
- Guillete E., Meza M. M., Aguilar M. G. Soto A. D. And García E. 1998. An Anthropological Approach to the Evaluation of Preschool Children Exposed to Pesticides in Mexico. *Environmental Health Perspectives*. V. (106): 347-353.

- Inegi. 1998. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Carta Topográfica 1:250000. Guaymas G12-2. Sonora.
- ITSON. 1989. Cromatografía Gas-Líquido. Metodología para Evaluar Concentración de Plaguicidas en un Sistema Estuarino. Boletín Académico ITSON. 39 (14-25).
- JMP. 1997. Statistical Discovery Software. SAS Institute Inc. Versión 3.1.2.
- Kamrin M. A. 1997. Pesticide Profiles. Toxicity, Environmental Impact and Fate. CRC. Lewis Publishers. Boca Raton, New York.
- Klaassen C. and Eaton D. 1991. Principles of Toxicology. In Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. Edited by Ambdur M., Doull J. Klaassen C. Fourth Edition. McGraw-Hill, Inc. p. 36
- Lignot J., Trilles J. Charmantier G. 1997. Effect of an Organophosphorus Insecticide, Fenitrothion, on Survival and Osmoregulation of Various Developmental Stages of the Shrimp *Penaeus japonicus* (Crustacea: Decapoda).
- Maron M., and Ames B. 1983. Revised Methods for the Salmonella Mutagenicity Test. Mutation Res. 113:173-215.



Meza M. M. y Ramírez M. 1996. Plaguicidas Antes y Después del Parto, en Sangre de Mujeres Residentes de Pueblo Yaqui, Sonora, México. En : La Toxicología en México, Estado Actual y Perspectivas. Editado por Albert L.A. y Saldívar L. Sociedad Mexicana de Toxicología. pp. 119-122.

Nowel L.H., Capel P.D., Dileanis P.D. 1999. *Pesticides in Stream Sediment and Aquatic Biota. Distributions, Trends and Governing factors*. National Water Quality Assessment Program. Lewis Publishers. Chapter 1.

NRWQC. National Recommended Water Quality Criteria. 1998.  
<http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-WATER/1998/December/Day-10/w30272.htm>

Rosales M., Escalona R., Alarcón R., and Zamora. 1985. Organochlorine Hydrocarbon Residues in Sediments in two Different Lagoons of Northwest Mexico. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 35:322-330.

Salame M. 1993. Demonstrating the Toxicological Impact of Malathion on Shrimp. Aquaculture Magazine. Mayo/junio.

Saunders D. and Harper C. 1994. Pesticides. Chapter II. *In Principles and Methods of Toxicology*. A. Wallance Hayes (Ed). p. Reven Press Ltd. New York. Pp.398-399.

- Shannon A., Fulton M. and Key P. 1999. The Sensivity of Grass Shrimp, *Palaemonetes pugio*, Embryos to Organophosphate Pesticide Induced Acetylcholinesterase Inhibition. *Aquatic Toxicology* V. (48) 127-134
- Sharom M., Miles J., Harris C. and McEwen F. 1980. Persistence of 12 Insecticides in Water. *Water Research*. 14:1089-1093.
- SSA. 1995. Programa de Vigilancia Epidemiológica del Efecto de los Plaguicidas y Substancias Tóxicas en la Salud Humana. Informe Ejecutivo. Gobierno del Estado de Sonora.
- Umbuzeiro G., Roubicek D., Sanchez P. And Sato M. I. 2001 . The *Salmonella* Mutagenicity Assay in a Surface Water Quality Monitoring Program Based on a 20 Year Survey. *Mutation Research*. V. (491): 119-126.
- USEPA. 1999. United States Environmental Protection Agency in: Nowel L.H., Capel P.D., Dileanis P.D. 1999. *Pesticides in Stream Sediment and Aquatic Biota. Distributions, Trends and Governing factors.* National Water Quality Assessment Program. Lewis Publishers. Table 6.4. pp 366.

Waliszewski S., Aguirre A., Infazon R., Silva C. and Siliceo J. 2001. Organochlorine Pesticide Levels in Maternal Adipose Tissue, Maternal Blood Serum, Umbilical Blood Serum and Milk from Inhabitants of Veracruz, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. V. (40): 432-438.

Waliszewski S., Chantiri J., Infazón R., Rivera J. y Pardío V. 1996. Niveles de Plaguicidas Organoclorados en Mexicanos en los años 1988-1994. En: *La Toxicología en México, Estado Actual y perspectivas*. Editado por Albert L.A. y Saldívar L. Sociedad Mexicana de Toxicología.

Witt J.M. 1989. *Chemistry, Biochemistry and Toxicology of Pesticides*. Oregon U.S.A.

Xu S., Jiang X., Wang X., TanY., Sun., Feng J., Wang., Martens D., Gawlik B. 2000. Persistent Pollutants in Sediments of the Yangtse River. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 64:176-183