



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*  
*Universidad Nacional Autónoma De México*



**DISTRIBUCIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN  
AGUA Y SEDIMENTO DURANTE LA ÉPOCA DE SECAS Y  
LLUVIAS EN LA LAGUNA DE AGUA BRAVA, NAYARIT.**

**T E S I S**

que para obtener el grado académico de

**Maestro en Ciencias**  
(Biología Marina)

p r e s e n t a:

**ALEJANDRO ISLAS GARCÍA**

Director de Tesis: DR. FERNANDO GONZÁLEZ FARIAS  
Comité Tutorial: DR. ALFONSO VÁZQUEZ BOTELLO  
DR. FRANCISCO J. FLORES VERDUGO  
DRA. CECILIA VANEGAS PÉREZ  
DR. GILBERTO DÍAZ GONZÁLEZ

Ciudad Universitaria, México.

2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

*A mi Familia...*

*A mis Padres...*

*A mi Hermano...*

*A mis Amigos...*

*Al Tiempo...*

*A la Ciencia...*

## **AGRADECIMIENTOS**

Por medio de este espacio quisiera agradecer todas las personas que de alguna forma contribuyeron con el inicio, desarrollo y conclusión del presente trabajo de investigación.

A mi director de tesis y al comité tutorial, por compartir su experiencia, conocimiento y comentarios que sirvieron para realizar el presente trabajo.

Al grupo del laboratorio de Contaminación Marina de Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, por sus enseñanzas, apoyo técnico y personal, sin los cuales no hubiera realizado la presente investigación.

Al grupo del Laboratorio de de Contaminación y Toxicología de la Universidad de Nayarit, por su apoyo durante el muestreo y análisis de laboratorio.

A la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mi maestría.

A la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para la realización de la tesis, a través del proyecto 032 del Subprograma de Agua 2000.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y por la experiencia académica y personal obtenida durante mi formación.

Y por ultimo, aunque no menos importante, al grupo de la coordinación del posgrado, por la atención, apoyo y guía brindada.

*“Las ciencias tienen las raíces amargas, pero muy dulces los frutos”*  
Aristóteles

*“La ignorancia afirma o niega rotundamente; la ciencia duda”*  
Voltaire

*“Los grandes conocimientos engendran las grandes dudas”*  
Aristóteles

## INDICE

Páginas

<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	i
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>Tipos de plaguicidas</b> .....	1
<b>Persistencia de los plaguicidas</b> .....	2
<b>Degradación y metabolismo de plaguicidas</b> .....	2
<b>Efectos en los organismos</b> .....	4
<b>Plaguicidas organoclorados</b> .....	5
<i>Persistencia de los plaguicidas OCs</i> .....	5
<i>Metabolitos de plaguicidas OCs</i> .....	5
<i>Efectos de los OCs en organismos</i> .....	6
<b>Los plaguicidas OCs como compuestos orgánicos persistentes</b> .....	7
<b>Plaguicidas en México</b> .....	8
<b>Destino de los plaguicidas en el ambiente</b> .....	9
<b>ANTECEDENTES</b> .....	11
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	12
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	12
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	13
<b>HIPÓTESIS</b> .....	13
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	14
<b>Descripción general</b> .....	14
<b>Clima y meteorología</b> .....	14
<b>Datos hidrométricos</b> .....	15
<b>Variables fisicoquímicas</b> .....	16
<b>Componentes bióticos</b> .....	16
<b>Actividad agrícola</b> .....	18
<b>Diagnostico del uso de plaguicidas en la región norte de Nayarit.</b> .....	18
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	20
<b>Variables fisicoquímicas</b> .....	20
<b>Materia orgánica en sedimento y análisis granulométrico</b> .....	20
<b>Muestreo de plaguicidas en campo</b> .....	20
<b>Técnica para determinación de plaguicidas</b> .....	21
<b>Determinación de plaguicidas en agua</b> .....	21
<b>Determinación de plaguicidas en sedimento</b> .....	24
<b>Análisis estadístico</b> .....	24
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	25
<b>Variables fisicoquímicas</b> .....	25
<i>Salinidad</i> .....	25
<i>Temperatura superficial del agua</i> .....	26
<i>pH</i> .....	27
<b>Materia orgánica en sedimento</b> .....	28
<i>Época de secas</i> .....	29
<i>Época de lluvias</i> .....	29

<b>Análisis granulométrico</b> .....	31
<i>Época de secas</i> .....	32
<i>Época de lluvias</i> .....	32
<b>Plaguicidas organoclorados en agua</b> .....	33
<i>Época de secas</i> .....	33
<i>Época de lluvias</i> .....	35
HCHs .....	35
Aldrín.....	35
Endrín y endrín aldehído.....	36
Heptacloro y epóxido de heptacloro .....	36
Endosulfán y endosulfán sulfato .....	36
DDTs .....	37
Comparación temporal .....	37
<b>Plaguicidas organoclorados en sedimento</b> .....	39
<i>Época de secas</i> .....	40
<i>Época de lluvias</i> .....	40
HCHs .....	41
Aldrín y dieldrín .....	41
Endrín y endrín aldehído.....	42
Heptacloro y epóxido de heptacloro .....	42
Endosulfán y endosulfán sulfato .....	42
DDTs .....	43
Comparación temporal .....	43
<b>Relación entre los OCs presentes en agua y sedimento</b> .....	43
<b>Correlación entre parámetros físicos y OCs</b> .....	46
<b>Correlación entre materia orgánica y concentración de plaguicidas OCs</b> .....	47
<b>Correlación entre partículas sedimentarias y concentración de plaguicidas OCs</b> .....	49
<b>Variación temporal de la concentración de OCs</b> .....	51
<b>Distribución de los plaguicidas OCs</b> .....	52
<i>Distribución en agua</i> .....	52
<i>Distribución en sedimento</i> .....	53
<b>Niveles máximos registrados de OCs</b> .....	54
<b>Situación ambiental del sistema lagunar Agua Brava</b> .....	57
<b>Plaguicidas y Salud Humana</b> .....	60
<i>Huicholes y Plaguicidas</i> .....	61
<b>La realidad de los plaguicidas en México</b> .....	62
<b>CONCLUSIONES</b> .....	64
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	66

## LISTA DE TABLAS

Página

<b>Tabla 1. Datos del aporte mensual (m<sup>3</sup>) de dos estaciones hidrométricas en los ríos Acaponeta y Rosa Morada, durante el año 2006.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 2. Datos fisicoquímicos obtenidos durante el muestreo de secas (marzo, 2006) y lluvias (julio 2006) de las estaciones analizadas en el área de estudio....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 3. Porcentajes de materia orgánica en sedimento obtenidos para la época de secas y lluvias en el área de estudio.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 4. Composición sedimentaria obtenida durante la época de secas y lluvias en las estaciones de muestreo.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 5. Solubilidad en agua de algunos plaguicidas OCs. ....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 6. Plaguicidas OCs detectados en agua y sedimento durante la época de secas y época de lluvias en las estaciones de muestreo. ....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 7. Concentración de plaguicidas OCs (ng/L) detectados en agua durante la época de secas.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 8. Concentración de plaguicidas OCs (ng/g) detectados en sedimento durante la época de secas.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 9. Concentración de plaguicidas OCs (ng/g) detectados en sedimento durante la época de lluvias.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 10. Concentración total de OCs, obtenida de la suma de las concentraciones de cada plaguicida en las estaciones de muestreo, para la época de secas y lluvias.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 11. Niveles máximos de plaguicidas OCs en algunos sistemas costeros del Noroeste de México en agua (ng/L).....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 12. Niveles máximos de plaguicidas OCs en algunos sistemas costeros del Noroeste de México en sedimento (ng/g).....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 13. Niveles máximos de plaguicidas OCs en sedimento (ng/g) de algunos sistemas costeros de otros países.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 14. Niveles recomendados de OCs para la protección de la vida acuática en agua costeras y estuarios, de acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia del Agua.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 15. Niveles de plaguicidas OCs en sedimento (ng/g) en los que se observan efectos adversos a los organismos marinos bentónicos (NOOA).....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 16. Número de casos de intoxicación de personas con plaguicidas en los estados de mayor incidencia en México.....</b>	<b>60</b>



## LISTA DE FIGURAS

Página

<b>Figura 1. Precipitación acumulada mensual (mm) en dos estaciones meteorológicas, Acaponeta y Rosa Morada, durante el año 2006.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2. Área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo del sistema lagunar de Agua Brava, Nayarit.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3. Variación temporal de la salinidad de los muestreos de secas y lluvias de las estaciones de muestreo. Valores puntuales.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 4. Temperatura superficial del agua en las estaciones de muestreo durante la época de secas y lluvias. Valores puntuales.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 5. Variación temporal del pH durante los muestreos de secas y lluvias en las estaciones de muestreo. Valores puntuales.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 6. Variación temporal del porcentaje de materia orgánica durante la época de secas y lluvias en las estaciones de muestreo. Valores puntuales.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 7. Porcentaje de partículas sedimentarias en la época de secas y lluvias en las estaciones de muestreo.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 8. Suma de la concentración de todos los OCs en agua por estación durante la época de secas.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 9. Suma de la concentración de todos los OCs en sedimento por estación durante la época de secas y lluvias.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 10. Plaguicidas OCs detectados en agua y sedimento por estación durante la época de secas.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 11. Correlación entre la concentración total de OCs y materia orgánica en sedimentos durante la época de secas.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 12. Correlación entre la concentración total de OCs y materia orgánica en sedimentos durante la época de lluvias.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 13. Correlación entre la concentración total de OCs en sedimentos y partículas sedimentarias durante la época de secas.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 14. Correlación entre la concentración total de OCs en sedimentos y partículas sedimentarias durante la época de lluvias.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura. 15. Distribución de las estaciones con mayores concentraciones de OCs en el área de estudio.....</b>	<b>53</b>

## RESUMEN

En el sistema lagunar de Agua Brava, localizado al noroeste de la planicie costera de Nayarit, se realizaron, en el 2006, muestreos de agua y sedimento durante la época de secas y lluvias en 11 estaciones, para medir la concentración y definir la distribución de plaguicidas organoclorados (OCs). La extracción de los OCs de las muestras con solventes y la limpieza de los extractos mediante columnas de absorción se realizaron con el método propuesto por la UNEP-IAEA. El análisis de los OCs fue mediante un cromatógrafo de gases con ECD, utilizando una mezcla de estándares con 16 plaguicidas (alfa HCH, beta HCH, gamma HCH (lindano), delta HCH, aldrín, dieldrín, endrín, endrín aldehído, heptacloro, epóxido de heptacloro, endosulfán I, endosulfán II, sulfato de endosulfán, DDE, DDD y DDT). En época de secas se detectaron 14 OCs en agua y 15 OCs en sedimento, mientras que en época de lluvias no se detectaron OCs en agua y solo 8 OCs en sedimento. En la época de secas se presentaron las concentraciones mayores de OCs, particularmente endosulfán sulfato (0.03 ng/L) y heptacloro (0.02 ng/L) para las muestras de agua, y el epóxido de heptacloro (280.43 ng/g) y delta HCH (17.51 ng/g) en sedimento. Las concentraciones máximas obtenidas en agua y sedimento son menores y mayores, respectivamente, en comparación con otros estudios. En este sistema se observó que la presencia y concentración de plaguicidas OCs aumenta durante la época de secas y disminuye durante la época de lluvias. Las mayores concentraciones de OCs se localizaron en las zonas cercanas a la desembocadura de ríos, zonas de entrada y sitios de acumulación en la laguna. Esta distribución estuvo influenciada principalmente por factores dinámicos, cercanía con las fuentes de origen de plaguicidas y transporte de estos compuestos. La detección de plaguicidas OCs prohibidos en este sistema indica recientes aplicaciones o una degradación muy lenta. Las concentraciones detectadas en algunos OCs pueden generar efectos adversos y toxicidad en especies del sistema lagunar.

## **INTRODUCCIÓN**

El aumento de la población humana ha ocasionado que exista una mayor demanda de productos alimenticios y la agricultura es uno de los medios por lo cual se busca satisfacer esta creciente necesidad, por lo que muchas áreas naturales han sido transformadas en campos de cultivo lo que genera una problemática ambiental severa, esto debido a que al aumentar las zonas de siembra y la aplicación de grandes cantidades de plaguicidas se generan diversos problemas como la contaminación de suelo, agua y efectos negativos en ambientes acuáticos y terrestres (Albert, 2005). El uso de plaguicidas en la agricultura se expandió después de la Segunda Guerra Mundial, y posteriormente la llamada “Revolución Verde” ocasionó la eliminación de las prácticas tradicionales de control de plagas incrementando el uso de plaguicidas sintéticos en el mundo (Laws, 1993).

Actualmente, existen clasificadas y reconocidas como nocivas para los cultivos 68, 000 especies de insectos aproximadamente, varios miles de enfermedades y numerosas malezas que reducen significativamente el rendimiento y producción de las cosechas, sin embargo, alrededor del 95 % de las plagas enfermedades y malezas pueden combatirse con la aplicación de plaguicidas. Por lo cual, no se puede concebir una agricultura productiva de altos rendimientos sin el uso de de los plaguicidas orgánicos sintéticos (Dierksmeier, 2001). Además, los plaguicidas también son usados para combatir especies vectores que transmiten enfermedades al hombre y a los animales. Debido a lo anterior, la utilización de dichos compuestos continuara conforme se aumenten las necesidades de alimento de la población humana y en general las actividades antropogénicas (Albert y Benítez, 1996).

### **Tipos de plaguicidas**

Existen diferentes tipos de plaguicidas utilizados en los cultivos, éstos pueden ser divididos de acuerdo a su estructura química en los siguientes grandes grupos (Plimmer, 2001; NAS, 1993):

- a) Inorgánicos (arseniato de calcio, arseniato de plomo y criolita), son insecticidas que afectan el sistema digestivo de la plaga, son poco utilizados por su alta toxicidad contra especies no-objetivo y por la alta resistencia de los insectos a éstos
- b) Organofosforados (clorpirifos, malatión y paratión) son actualmente los plaguicidas más utilizados por su eficacia y su mayor degradación en comparación con los organoclorados,

utilizados como insecticidas y acaricidas inhiben la acetilcolinesterasa afectando el sistema nervioso de las plagas

- c) Carbamatos (aldicarb, carbarilo y carbofurán), utilizados como insecticidas inhiben la acetilcolinesterasa, éstos al igual que los organofosforados son más susceptible a la degradación *in vivo* y ambiental
- d) Piretroides (cinerina, permetrina y praletrina) son de los pocos plaguicidas de origen natural, el principal compuesto se extrae de las flores del crisantemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*), son utilizados como insecticidas y causan parálisis en los insectos
- e) Triazinas (ametrina, atrazina y simazina) son utilizadas como herbicidas, estos compuestos son inhibidores de la fotosíntesis
- f) Organoclorados (DDT, endrín y heptacloro) fueron utilizados ampliamente después de su introducción, pero debido a su baja degradación en condiciones ambientales éstos en su mayoría fueron prohibidos a nivel mundial, utilizados principalmente como insecticidas afectan la transmisión neural de las especies objetivo

### **Persistencia de los plaguicidas**

La persistencia de una molécula de plaguicida en el ambiente estará determinada por su estructura química y las características físicas, químicas y biológicas del medio en el cual este localizada (Barbash, 2005). La persistencia de los plaguicidas varia en función del medio, se tiene que ésta se incrementa en el orden siguiente: **atmósfera < aguas superficiales < suelos < sedimentos acuáticos**. Esto debido a diversas circunstancias entre las cuales se pueden mencionar: a) Las reacciones químicas en agua son generalmente más lentas que en el aire; b) Los plaguicidas en sedimentos acuáticos y suelo son expuestos a menos luz solar que en la atmósfera y el agua superficial; y c) Los plaguicidas adsorbidos por sedimentos acuáticos y suelos son a menudo menos accesibles para la biotransformación que en la fase acuosa (Barbash, 2005).

### **Degradación y metabolismo de plaguicidas**

La transformación y degradación estructural de los plaguicidas puede ser por procesos abióticos, tales como reacciones térmicas, químicas y fotoquímicas o por procesos bióticos como el metabolismo a través de microorganismos, plantas o animales (Plimmer, 2001).

Los primeros procesos de transformación de los plaguicidas, cuando son liberados al ambiente, son los fotoquímicos o térmicos los cuales dependen de la energía solar (Barbash, 2005). Posterior a estos procesos los plaguicidas se degradan por hidrólisis mediante una reacción química influenciada por el pH del medio. La principal degradación de estos compuestos es mediante el metabolismo microbiológico, esto debido a que existe una gran abundancia y diversidad de microorganismos en el ambiente que interactúan con estos compuestos mediante reacciones de oxido-reducción y a través de enzimas como las hidrolasas y amilasas (Albert y Benítez, 1996; Plimmer, 2001). La degradación de los plaguicidas por los microorganismos se conoce como biotransformación (Hodgson y Levi, 2001). Los más importantes microorganismos degradadores de plaguicidas pertenecen a los siguientes géneros: *Alcaligenes*, *Aspergillus*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Phanerochaete* (Stenersen, 2004).

En general los metabolitos producidos son menos tóxicos, más solubles y más fácilmente excretados que sus compuestos precursores. Sin embargo, en algunos casos la degradación abiótica y biótica de los plaguicidas genera compuestos con estructura química diferente al compuesto inicial con mayor toxicidad y estabilidad en el ambiente. Cuando la biotransformación resulta en un producto más tóxico y más estable se le conoce como “síntesis letal” (Hodgson y Levi, 2001).

La degradación microbiana de los plaguicidas esta influenciada por muchos factores, pero la estructura química de estos compuestos y los factores ambientales son de los más importantes, a continuación se mencionan algunas de estas características estructurales y factores ambientales que afectan esta degradación, de acuerdo a Stenersen (2004):

- Los plaguicidas fuertemente adsorbidos por el suelo y sedimento tienen una reducida degradación microbiológica
- Los compuestos con un estado alto de oxidación, tales como los compuestos clorados, son refractarios a otra oxidación, por lo tanto son degradados anaeróbicamente
- Las sustancias con alta toxicidad para los microorganismos no son fácilmente degradadas

- Las altas temperaturas incrementan la tasa de degradación de plaguicidas, esto debido a que estos compuestos son más solubles y menos adsorbidos por las partículas coloides y estarán más disponibles para los organismos, además el número de microorganismo y su actividad metabólica se incrementa
- La humedad del suelo influye fuertemente en la degradación de los plaguicidas
- Los ambientes con valores altos de pH favorecen la mayor degradación microbiológica de plaguicidas

### **Efectos en los organismos**

Los plaguicidas presentan diversos efectos en los organismos que dependerán del tipo de plaguicida o especie química, las concentraciones en las que se presenten, tiempo de exposición, las condiciones del ambiente, los aspectos tróficos y características fisiológicas de los organismos (Albert y Benítez, 1996; Rosales, 1979). Por ejemplo, se han reportado que los plaguicidas organofosforados inhiben la acetilcolinesterasa afectando el sistema nervioso en el camarón blanco (García-de la Parra *et al.*, 2006; Yamano *et al.*, 1992); y además modifican la conducta del zooplancton, pérdida de equilibrio y habilidad natatoria y causan cambios en la abundancia y diversidad de plancton (Murray *et al.*, 1980; Kaur *et al.*, 1996). Por otro lado, se ha registrado que el aldicarb, un plaguicida carbámico, afecta el funcionamiento celular a nivel de hígado, riñón y branquias en peces (Gill *et al.*, 1990). Los compuestos imazilil y triadimefón, plaguicidas amilazólico y triazólico, respectivamente, ocasionan inhibición en la fertilización y desarrollo embrionario de la ascidia *Phallusia mammillata* (Pennati *et al.*, 2006).

La bioacumulación es cuando en los organismos aumenta la concentración de contaminantes en sus tejidos respecto a la del ambiente. Este aumento de concentración es causado por la adsorción pasiva o activa del contaminante seguido de la retención en tejidos o partes duras como un resultado de la no excreción del contaminante por los organismos (Albert y Benítez, 1996). La biomagnificación es el proceso donde la concentración del contaminante en los organismos aumenta en niveles tróficos superiores (Libes, 1992). Ambos procesos se observan principalmente en los organismos expuestos a plaguicidas persistentes y representan un riesgo sucesivo a nivel bioquímico, celular, sistémico, poblacional y de comunidad (McDowell *et al.*, 1988).

## **Plaguicidas organoclorados**

### ***Persistencia de los plaguicidas OCs***

Los plaguicidas OCs presentan elevada persistencia en el ambiente, tanto biótico como abiótico, debido a su gran estabilidad y lenta degradación en condiciones ambientales (Albert y Gallardo, 2005), por lo cual se recomienda utilizar plaguicidas poco persistentes a fin de evitar una contaminación a largo plazo. Los plaguicidas como el aldrín, dieldrín, clordano y heptacloro proporcionaron un control muy económico de las plagas por muchos años (NAS, 1993), por lo que fueron muy utilizados antes de su total prohibición a inicios de los años noventa. Los compuestos OCs más persistentes son el DDT (>10 años), endrín (10 años), clordano (8 años), dieldrín (7 años), aldrín (5 años), heptacloro (4 años),  $\gamma$ -HCH o lindano (2 años), endosulfán II (2 años) y endosulfán I (3.5 meses) (McEwen y Stephenson, 1979).

### ***Metabolitos de plaguicidas OCs***

El hexaclorociclohexano (HCH) técnico está formado por sus isómeros  $\alpha$  (70 %),  $\beta$  (6 %),  $\gamma$  (13 %),  $\delta$  (6%) y  $\epsilon$  (trazas), donde sólo el  $\gamma$ -HCH (lindano) es el isómero tóxico que le da la propiedad insecticida. El lindano es poco persistente y es metabolizado por insectos y microorganismos que mediante una deshidrocloración producen el metabolito pentaclorociclohexano (Cremlyn, 1989). La metabolización de los isómeros del HCH incrementa en el siguiente orden:  $\beta < \delta < \alpha < \gamma$  (Brooks, 1974), donde el lindano por ser muy tóxico no permite una rápida degradación microbiana.

El aldrín y dieldrín, son dos OCs que son formulados y aplicados por separado en los cultivos, pero la biotransformación del aldrín, por medio de la epoxidación, puede generar al dieldrín. El endrín puede ser metabolizado por organismos a endrín aldehído y endrín cetona (Brooks, 1974; Hodgson y Levi, 2001).

El heptacloro al ser metabolizado por aves, insectos, mamíferos y plantas, pero principalmente por microorganismos a través de una oxidación (epoxidación), genera un compuesto estable llamado epóxido de heptacloro, el epóxido es más tóxico que el propio heptacloro y tiende a bioacumularse en los tejidos animales. El epóxido de heptacloro puede ser formado también por fotodescomposición (Hodgson y Levi, 2001; McEwen y Stephenson, 1979; Stetter, 1983). La presencia de este OC en el ambiente puede deberse a su aplicación directa en los campos o por el

empleó del clordano, ya que el heptacloro fue utilizado para la formulación del clordano técnico (Brooks, 1974) que también es un plaguicida prohibido.

El endosulfán, es un plaguicida OC muy utilizado en la actualidad por presentar una baja persistencia en comparación con otros OCs y no ser bioacumulable. El endosulfán técnico es una mezcla de dos isómeros el  $\alpha$ -endosulfán (I) con el 70 % y el  $\beta$ -endosulfán (II) con el 30 %. Ambos isómeros son metabolizados a endosulfán sulfato, este metabolito es generado bajo una oxidación producida por la actividad enzimática de los microorganismos, es altamente persistente pero menos tóxico que sus dos predecesores (Brooks, 1974; Stetter, 1983). El metabolito endosulfán sulfato también puede ser producido mediante hidrólisis (McEwen y Stephenson, 1979).

El DDT es lentamente degradado en el ambiente, pero por medio de una reducción (dehidrocloración) producida por microorganismos, se generan los productos de degradación o metabolitos DDD y DDE, que también son muy estables como su predecesor (Hodgson y Levi, 2001). El DDD es muy persistente y tiene propiedades insecticidas (McEwen y Stephenson, 1979; Stenersen, 2004), mientras que el DDE también es altamente persistente pero tiene una ligera actividad insecticida, ambos se metabolizan lentamente por aves y mamíferos hasta el ácido carboxílico (Cremlyn, 1989).

### ***Efectos de los OCs en organismos***

En cuanto a los efectos de los plaguicidas organoclorados (OCs) en organismos acuáticos, existen diversos trabajos en los que se observa que estos actúan a nivel enzimático inhibiendo la actividad de la acetilcolinesterasa, reducen la síntesis protéica y de ADN, afectando órganos y rutas metabólicas (Albert y Gallardo, 2005; Galindo-Reyes *et al.*, 2002). Por mencionar algunos ejemplos, se ha reportado que los OCs inhiben el desarrollo de las gónadas y alteran la tasa de consumo de oxígeno y excreción del nitrógeno total en peces (Liliane-Eustache *et al.*, 2002; Rao *et al.*, 1981), ocasionan una disminución de la osmoregulación por reducción de la actividad enzimática en el camarón blanco (Galindo-Reyes *et al.*, 2000) y además se menciona que afectan la fertilización y maduración de oocitos en la estrella de mar (Picard *et al.*, 2003).



Los plaguicidas OCs, en comparación con otros plaguicidas (organofosforados, carbámicos, piretroides, etc.), presentan una mayor persistencia en los sistemas terrestres y acuáticos. Estos compuestos presentan baja polaridad, poca solubilidad en el agua y una alta solubilidad en lípidos, por lo que son rápidamente captados por material biológico, bioconcentrándose y biomagnificándose en la grasa de los organismos a lo largo de la red trófica (Favari *et al.*, 2002; Rosales, 1979). La bioconcentración y biomagnificación son uno de los principales efectos nocivos de los plaguicidas OCs. Por ejemplo, se han detectado concentraciones elevadas de OCs en delfines banda-blanca (*Lagenorhynchus acutus*) y en ballenas piloto (*Globicephala melas*) debido a que éstos bioacumulan y biomagnifican los OCs, dado que se alimentan de peces con OCs en sus tejidos (Weisbrod *et al.*, 2001). En el Golfo de California se han registrado concentraciones elevadas de OCs en tres especies de tortugas marinas (*Chelonia mydas agassizii*, *Caretta caretta* y *Lepidochelys olivacea*), debido posiblemente a sus hábitos alimenticios carnívoros (Gardner *et al.*, 2003). También se reporta que la biomagnificación de OCs genera daños a nivel de tejido y órganos por la presencia de tumores en hígado y bazo de los peces *Anguilla anguilla*, una especie consumidora en las cadenas tróficas de las costas del oeste de Europa (Ribeiro *et al.*, 2005).

El ser humano no está exento a los daños y acumulación en su cuerpo de plaguicidas OCs. Beard (2005) menciona que el DDT tiene un papel importante en la generación de cáncer de páncreas, disfunción neurofisiológica y en el desorden reproductivo en el humano. En México se detectó la presencia de OCs en la sangre, tejido adiposo y en la leche materna de madres por la exposición a plaguicidas durante campañas de sanidad pública (Waliszewski *et al.*, 1999a; Waliszewski *et al.*, 1999b).

### **Los plaguicidas OCs como compuestos orgánicos persistentes**

El Convenio de Estocolmo realizado por el Programa para el Ambiente de Naciones Unidas (UNEP) define a los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) como aquellos compuestos que tienen propiedades tóxicas, son resistentes a la degradación, se bioacumulan y son transportados por aire, agua y especies migratorias y son depositados lejos del lugar de su liberación, además estos compuestos se acumulan en ecosistemas terrestres y acuáticos y representan un problema a la salud humana (Convenio de Estocolmo, 2001). Los COP de acuerdo a la UNEP son: aldrín, clordano, diclorodifeniltricloroetano (DDT), dieldrín, endrín, heptacloro,

hexaclorobenceno (HCB), mirex, toxafeno, y bifenilos policlorados (BPCs o PCBs). Todos estos compuestos, excepto los PCBs, son plaguicidas organoclorados (OCs) lo cual demuestra el impacto de estos compuestos en el ambiente, en la salud y en la sociedad a nivel mundial. El uso de los COP se ha restringido, pero en los países en vía de desarrollo se presentan todavía vacíos importantes en la legislación ambiental, que asociada a inadecuadas condiciones sociales y económicas no garantizan un manejo racional de estos tóxicos (Betancourt y Ramírez, 2005).

### **Plaguicidas en México**

En México la aplicación de plaguicidas sintéticos inicio en los años cincuenta, en 1959 comenzó a producir los organoclorados DDT y HCB (González-Farias, 2003). Para los años sesenta se importaban cerca de 125 tipos de plaguicidas a varias regiones de México (Restrepo, 1988). El uso de plaguicidas ha aumentado casi exponencialmente, en el periodo de 1959 a 1969 se utilizaban cerca de 9,000 toneladas/año y para 1995 se estima que se usaron cerca de 115,000 toneladas/año (González-Farias, 2003). Los plaguicidas de mayor uso son los insecticidas con alrededor del 37 %, seguido de los fungicidas con 27 %, los herbicidas con 26 % y otros con diversas actividades con un 3 %. La mayoría de los plaguicidas son utilizados en actividades de agricultura y campañas de sanidad, y en menor proporción en actividades industriales, jardinería y uso doméstico (González-Farias, 2003).

En 1988, con la participación de diversas instituciones gubernamentales, se creó en México la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST) que actualmente se encarga de controlar la importación, producción, formulación, comercialización y transportación de las sustancias mencionadas, así como definir su uso. De acuerdo al Catalogo Oficial de Plaguicidas 2004, publicado por la CICOPLAFEST (2004), en México están permitido el uso de 306 plaguicidas, de éstos 11 son de uso restringido (entre otros aldicarb,  $\gamma$ -HCH (lindano), DDT, metoxicloro, mevinfos y paraquat) y 20 plaguicidas están totalmente prohibidos (entre otros aldrín, cianofos, cloranil, dialifor, dieldrín y endrín). El DDT, por su alto riesgo para la salud humana, su elevada persistencia y sus propiedades de bioacumulación, podrá ser utilizado exclusivamente por la Secretaria de Salud (SSA) en campañas sanitarias. En general, los plaguicidas organoclorados están prohibidos o restringidos para el uso agrícola, excepto el dienoclor cuyo uso está permitido por la

CICOPLAFEST (2004) para los cultivos de flores ornamentales como azalea, clavel, crisantemo, gardenia, gladiola y rosal; y el endosulfán cuyo uso está permitido por la CICOPLAFEST (2004) para los cultivos de caña de azúcar, tabaco, tomate de cáscara, trigo, sandía, entre otros.

### **Destino de los plaguicidas en el ambiente**

En el momento de aplicar un plaguicida en una zona agraria, alrededor del 50% se pierde por volatilización (Plimmer, 1992) y aproximadamente 60 % del producto se pierde y se dispersa al suelo, dando como resultado una elevada acumulación de estos productos en los suelos agrícolas (Soárez, 1996). En el momento en que entran al ambiente los plaguicidas quedan expuestos a movimientos de aire y agua que actúan como medios de transporte hacia otras zonas.

El ingreso de los plaguicidas a los medios acuáticos se produce por aportes directos, escurrimientos y transporte atmosférico, en el agua los plaguicidas ligados a materia orgánica y sedimentos son acarreados hacia estos sistemas y son absorbidos por los organismos (Rosales, 1979). En las lagunas costeras, los plaguicidas se distribuyen en la columna de agua y los sedimentos del fondo. Esta separación se atribuye al fenómeno llamado “trampa de nutrientes” que se genera durante la mezcla de agua dulce y marina, lo que produce la floculación y sedimentación de la materia orgánica, los nutrientes y los contaminantes provenientes de los ríos (Albert y Benítez 1996). De esta manera, los plaguicidas se mantienen en suspensión o se acumulan en los sedimentos costeros interaccionando con los componentes sedimentarios.

Debido a todo anterior los sedimentos de las lagunas costeras se convierten en el mayor reservorio plaguicidas OCs en los sistemas acuáticos (Boon y Duinker, 1986). Pero la resuspensión por dragados, eventos de tormentas, corrientes o bioturbación, pueden resultar en la reincorporación de los contaminantes a la columna de agua, permitiendo así su redistribución en el sistema acuático y su disponibilidad para los componentes bióticos presentes (Castillo, 2005).

En México, muchas de sus lagunas costeras se encuentran contaminadas con plaguicidas debido a la existencia de grandes distritos de riego adyacentes a éstas. Las zonas costeras de gran parte del país son ideales para el desarrollo de la agricultura dadas las características del suelo, geomorfología, disponibilidad de agua y el clima (González-Farías *et al.*, 2002). Las descargas

industriales y urbanas también son fuente de plaguicidas para la zona costera, pero debido a los grandes volúmenes de plaguicidas que se aplican en la agricultura y en campañas de salud pública, son estas actividades las principales fuentes contaminantes (Albert y Benítez, 1996).

## **ANTECEDENTES**

El estado de Nayarit se encuentra entre los estados de mayor actividad agrícola en la República Mexicana con una superficie agrícola de 469,000 ha, donde predomina los Distritos de Temporal Tecnificados (Albert, 2005; Cisneros-Estrada y Gonzáles-Farias, 2007; Gonzáles-Farias, 2003). En cuanto a la aplicación de plaguicidas OCs en Nayarit, no existen datos históricos sobre la cantidad utilizada en los campos agrícolas. Pero existen registros de los plaguicidas OCs que fueron utilizados entre 1994 y 2004 en el cultivo de tabaco, que es uno de los más importantes de esta zona. En estos registros se observa que sólo se han utilizado dos OCs durante este periodo, el endosulfán, que ha sido utilizado de manera continua durante los diez años y el clordano, el cual se ha utilizado pero no se conocen los años de aplicación (Boletín para el Control del Tabaco, 2004). En investigaciones realizadas en el 2007, se menciona que los productores agrícolas de esta zona sólo utilizan el plaguicida organoclorado endosulfán (Cisneros-Estrada y Gonzáles-Farias, 2007).

Por otro lado, Nayarit es una zona donde existen brotes de enfermedades como el dengue y el paludismo, por lo cual se utiliza el DDT en campañas sanitarias por parte de la SSA, esto para eliminar las especies vector, pero no existen datos de las cantidad de aplicación de este plaguicida OC.

En el estado de Nayarit se tienen únicamente cuatro reportes sobre investigaciones referentes a contaminación por plaguicidas en lagunas costeras, uno realizado en la laguna de Mezcaltitán por de la Lanza (1986a) en agua, dos estudio realizados en el Estero de Cuautla y en Laguna Grande en agua, sedimento y camarón (Castillo, 2000; 2005) y uno realizado en los estuarios Pozo-Rey y San Cristóbal (Robledo-Marenco *et al.*, 2006). Por lo que la determinación, identificación y análisis de la distribución de plaguicidas en agua y sedimento es el primer trabajo en su tipo dentro del sistema lagunar de Agua Brava, Nayarit.

## **JUSTIFICACIÓN**

Las lagunas costeras conforman ecosistemas en donde la interacción mar, tierra y atmósfera crea un medio rico en recursos naturales, por lo que son consideradas junto con las áreas costeras, neríticas e intermareales, como uno de los sistemas acuáticos más productivos del mundo. En estos sitios son capturadas alrededor del 90 % de las pesquerías mundiales y gran parte de la población mundial está situada alrededor de las zonas costeras (Contreras, 1993; Díaz-González *et al.*, 1996; Flores-Verdugo *et al.*, 1995; González-Farías *et al.*, 2002). Considerando que República Mexicana posee a lo largo de su litoral alrededor de 130 lagunas costeras (Contreras, 1993) y la importancia ecológica, social y económica de las mismas, es relevante hacer estudios que permitan conocer la situación ambiental y la contaminación de estos sistemas acuáticos.

Los plaguicidas son un ejemplo típico de contaminantes antropogénicos que degradan los hábitat de importantes recursos bióticos y pueden afectar a los ecosistemas (Albert, 2005), por lo cual es importante evaluar el impacto ecológico por la introducción de estos agrocompuestos en lagunas costeras, y para esto es necesario identificarlos, cuantificarlos, conocer su distribución, fuentes de origen, rutas principales de entrada y efectos negativos dentro de estos cuerpos acuáticos.

Pero a pesar de que actualmente sólo se permite el uso del endosulfán de los OCs analizados en el presente estudio, es trascendental conocer la distribución, dispersión y dinámica de los plaguicidas que anteriormente se aplicaron (González-Farías *et al.*, 2002) y verificar que realmente los OCs prohibidos se han dejado de utilizar de acuerdo a las disposiciones gubernamentales. Por lo tanto, conocer la distribución espacio-temporal de estos contaminantes dentro del sistema lagunar de Agua Brava es importante para definir el grado de contaminación y determinar la situación ambiental en este sistema, esto debido a la importancia como zona de biodiversidad y de generación de productos comerciales bióticos.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Analizar la distribución espacio-temporal de plaguicidas organoclorados detectados en la laguna de Agua Brava, Nayarit, durante la época de secas y lluvias

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Determinar algunas variables fisicoquímicas como pH, salinidad y temperatura superficial del agua dentro del área de estudio y establecer su posible relación con las concentraciones de OCs en agua y sedimento
- Obtener el porcentaje de materia orgánica en el sedimento y realizar un análisis granulométrico para identificar los tipos de partículas sedimentarias en el área de estudio
- Identificar y determinar la concentración de plaguicidas OCs en agua y sedimento en las estaciones dentro del área de estudio
- Evaluar la correlación entre la concentración de plaguicidas OCs con el porcentaje de materia orgánica y el tamaño de partículas en las muestras de sedimento
- Analizar la distribución espacial de los plaguicidas en la laguna durante las épocas de secas y lluvias
- Estimar cuáles son las fuentes y rutas principales de contaminantes hacia la laguna e identificar las zonas de depositación de los plaguicidas
- Analizar la situación ambiental del sistema lagunar considerando las concentraciones de OCs en agua y sedimento

## **HIPÓTESIS**

- La distribución espacio-temporal de plaguicidas organoclorados dentro del sistema lagunar de Agua Brava, Nayarit, estará determinada por la época de secas y lluvias
- Las mayores concentraciones de plaguicidas OCs en sedimento se encontrarán en las zonas de depositación dentro de la laguna
- Las concentraciones de plaguicidas OCs en agua se localizarán cerca de las fuentes de emisión y en las zonas de entrada
- La correlación entre materia orgánica y plaguicidas OCs en sedimento determinará la distribución de las concentraciones dentro del sistema lagunar
- La correlación entre partículas sedimentarias finas y plaguicidas OCs en sedimento establecerá la concentración dentro del sistema lagunar.

## **ÁREA DE ESTUDIO**

### **Descripción general**

La laguna de Agua Brava se encuentra situada al noroeste de la República Mexicana entre los paralelos 22° 04' y 22° 13' latitud norte y los meridianos 105° 28' y 105° 36' longitud oeste en la planicie costera del noroeste de Nayarit (Contreras, 1993), formando parte del complejo lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales entre los límites norte-sur de los estados de Nayarit y Sinaloa (Álvarez *et al.*, 1986). La zona de Marismas Nacionales está catalogada, desde el 22 de junio de 1995, como Sitio Ramsar (No. 732) y es considerada como una zona de humedales de importancia internacional. Además, esta área ha sido propuesta por investigadores de la Universidad Autónoma de Nayarit y la Universidad Autónoma de Guadalajara, en noviembre del 2004, para ser designada Área de Protección de Flora y Fauna.

La laguna de Agua Brava tiene un área de 40,000 ha, con un ancho variable de 0.8 a 1.5 km y una profundidad promedio de 2.5 m, está separada de la zona litoral por una faja corta de terrenos bajos orientados diagonalmente con respecto a la costa (Álvarez *et al.*, 1986; Contreras, 1993). La comunicación con el océano Pacífico es a través del estero y boca de Teacapán y la boca artificial del Palmar de Cuautla. Los sistemas fluviales que desembocan en este cuerpo lagunar son los ríos Acaponeta, Bejuco y Rosa Morada, dominando en éstos los sedimentos limo-arcillosos (Álvarez *et al.*, 1986; Contreras, 1993).

### **Clima y meteorología**

El clima de la región corresponde al tipo Aw, subtropical cálido subhúmedo, según el sistema de Köepen modificado por García (1973). En cuanto a datos meteorológicos se tienen como antecedentes una temperatura promedio anual de 25 °C, con precipitación anual cercana a 1,660 mm, presentando vientos provenientes del noroeste en invierno y de oeste a sureste durante el verano.

En los datos de precipitación acumulada mensual del año 2006, obtenidos de dos estaciones meteorológicas ubicadas cerca de los ríos Acaponeta y Rosa Morada, pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (SMN-CNA), se observó que la época de secas se presentó de noviembre a mayo y la época de lluvias inició de junio a octubre,



con precipitaciones más intensas durante los meses de julio, agosto y septiembre (Fig.1), observándose un comportamiento similar en años anteriores.

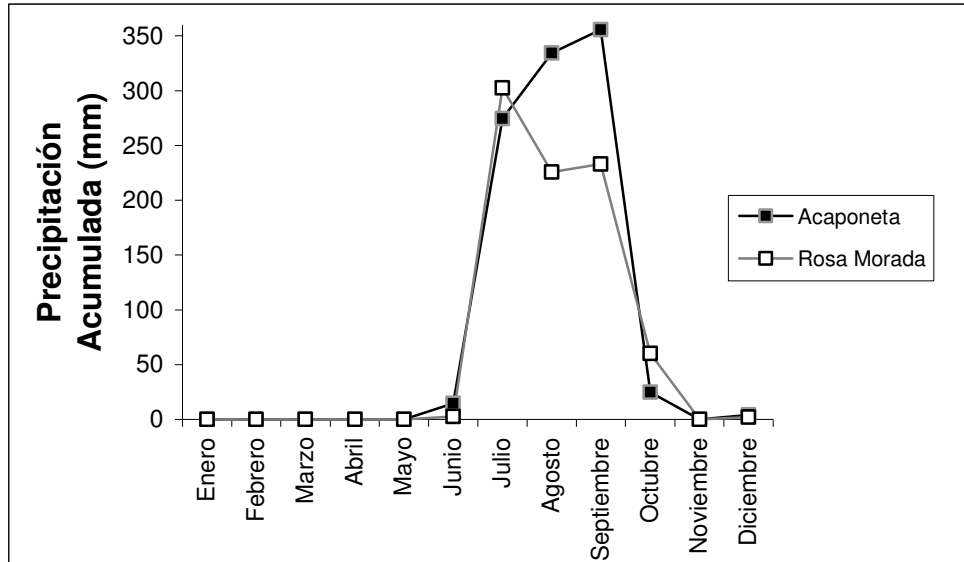


Figura 1. Precipitación acumulada mensual (mm) en dos estaciones meteorológicas, Acaponeta y Rosa Morada, durante el año 2006. Datos obtenidos de la Comisión Nacional del Agua.

### Datos hidrométricos

En cuanto a datos de aporte de los sistemas fluviales que desembocan en el sistema lagunar Agua Brava, Castillo (2005) menciona que en su parte norte el sistema recibe aportes del Río Acaponeta, el cual descarga en verano un promedio mensual entre 9'321,000 a 505'194,000 m<sup>3</sup>, en otoño de 505'194,000 a 21'650,000 m<sup>3</sup>, en invierno 68'900,000 a 12'090,000 m<sup>3</sup> y en primavera de 3'177,000 a 6'275,000 m<sup>3</sup>. El Estero de Cuautla recibe el aporte del Río Cañas que descarga en verano un promedio mensual entre 3,500 a 28,225 m<sup>3</sup>, en otoño entre 1'088,000 a 36'650,000 m<sup>3</sup>, en invierno entre 225,000 a 452,000 m<sup>3</sup> y en primavera de 8,000 a 102,000 m<sup>3</sup>.

Para el año 2006 de acuerdo a datos obtenidos de dos estaciones meteorológicas ubicadas en los ríos Acaponeta y Rosa Morada pertenecientes al SMN-CNA, se observó que el aporte mensual fue mayor para los meses de julio, agosto y septiembre en ambas estaciones (Tabla 1). El río Bejuco es temporal y presenta aporte sólo en época de lluvias pero no se tienen datos de los aportes mensuales.

Tabla 1. Datos del aporte mensual (m<sup>3</sup>) de dos estaciones hidrométricas en los ríos Acaponeta y Rosa Morada, durante el año 2006. Datos obtenidos de la Comisión Nacional del Agua.

	<b>Aporte Mensual (m<sup>3</sup>)</b>	
	<b>Acaponeta</b>	<b>Rosa Morada</b>
<b>Enero</b>	193,127	0
<b>Febrero</b>	171,374	11,952
<b>Marzo</b>	121,077	14,729
<b>Abril</b>	97,307	2,880
<b>Mayo</b>	86,601	0
<b>Junio</b>	440,343	0
<b>Julio</b>	3'072,989	157,748
<b>Agosto</b>	13'169,111	208,675
<b>Septiembre</b>	15'189,846	651,967
<b>Octubre</b>	2'300,141	122,904
<b>Noviembre</b>	811,688	59,904
<b>Diciembre</b>	334,600	38,340

### **Variables fisicoquímicas**

Respecto a las variables fisicoquímicas de la laguna de Agua Brava, los valores de temperatura superficial del agua más bajos (23 °C) se registran en el invierno, y los más altos (hasta 32 °C) en primavera. Además se mencionan salinidades de 21 ups en épocas de secas y 0 ups en lluvias (Álvarez *et al.*, 1986).

### **Componentes bióticos**

La laguna está bordeada por extensos bosques de manglar, presentando una zonación clásica donde dominan el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y en menor proporción el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el botoncillo (*Conocarpus erectus*). La apertura de la boca artificial del Palmar de Cuautla, en 1975, ha provocado variaciones en el nivel del agua, su tiempo de residencia y aumento en las condiciones salobres del sistema lagunar, lo cual ha modificado la zonación de estos componentes vegetales en el sistema lagunar (Amezcuca-Linares *et al.*, 1992; Flores-Verdugo *et al.*, 1986). Los manglares aportan gran cantidad de detritus principalmente por la defoliación de éstos, la defoliación ocurre mayormente al final del periodo de secas y a inicios del periodo de lluvias (Flores-Verdugo *et al.*, 1990; González-Farías *et al.*, 1997).

Las algas microscópicas y macroscópicas que se registran para la laguna de Agua Brava pertenecen a los siguientes géneros: *Anabaena*, *Spirulina*, *Eucapsis*, *Microcystis*, *Pediastrum*, *Volvox*, *Cheatocecos*, *Nitzschia* y *Cyclotella*. En cuanto a animales microscópicos se han registrado ciliados (*Tintinopsis sp*), rotíferos (*Brachionus sp* y *Asplacna sp.*), quetognatos (*Sagitta euneritica*) y cladóceros (*Evadne sp.* y *Penilia avifostris*) (Gómez, 1981).

En este sistema lagunar se han registrado tres especies de camarones: camarón blanco (*Penaeus vannamei*), camarón azul (*Penaeus stylirostris*) y camarón café (*Penaeus californiensis*), las cuales son de importancia comercial (Quiroga, 1987).

La ictiofauna dominante esta representada por las siguientes especies: chihuil (*Galeichthys caerulescens*), bagre (*Arius liropus*), robalo (*Centropomus robalito*), mojarra de aleta amarilla (*Diapterus peruvianus*), lisa (*Mugil curema*), zapatero (*Oligoplites saurus*) y lenguado (*Citharichthys gilberti*), las cuales en su mayoría son consumidas y de importancia comercial (Álvarez *et al.*, 1986).

Para el sistema lagunar de Agua Brava y sus sistemas fluviales Acaponeta, Rosa Morada y Bejuco, no existen registros de la fauna, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, pero los registros de zonas cercanas como el Estero El Verde al sur de Sinaloa, Boca de Camichin, Chacalilla y San Blas en el occidente de Nayarit y los ríos Santiago y Huaynamota en Nayarit, mencionan algunas especies que posiblemente se encuentran en el sistema lagunar por su cercanía geográfica. Las especies de aves que se presentan en el Estero El Verde son: pelicano blanco (*Pelecanus erythrorhynchus*), pelicano café (*Pelecanus occidentalis*), tijereta (*Fregata magnificens*), garza (*Casmerodius albus*), garcita pantanera (*Egretta thula*), espátula rosada (Ajaia ajaia), entre otras. De reptiles sólo se menciona la presencia de cocodrilos de la especie *Crocodylus acutus* (Hendrickx *et al.*, 1983). Para el occidente de Nayarit en Boca de Camichin, Chacalilla y San Blas se han registrado aproximadamente 58 especies de aves acuáticas y marinas donde las más frecuentes son: pájaro bobo prieto (*Sula leucogaster*), pelicano café (*Pelecanus occidentalis*), garza gris (*Ardea herodias*), chorlito semipalmeado (*Charadrius semipalmatus*) y martín pescador (*Ceryle alcyon*), pero se estima que para todo el occidente de Nayarit se registran 111 especies que representan el 11% de las aves marinas y acuáticas del planeta y la mitad de las

especies de México, lo que indica que esta zona es muy importante a nivel nacional y mundial (Ramos, 2002) .

En cuanto a la herpetofauna presente en los ríos Acaponeta, Rosa Morada y Bejuco que integran este sistema lagunar Agua Brava, Nayarit, no se tienen estudios, pero existen trabajos de los ríos Santiago y Huaynamota en Nayarit, donde se registran 12 especies de anfibios como el sapo (*Buffo mazatlanensis*) y rana verde (*Pachymedusa dacnicolor*), dos especies de tortugas dulceacuícolas como la jicotea (*Pseudemys scripta ornata*) y casquito (*Kinosternon scorpioides integrum*), 13 especies de lagartos como garrobo (*Ctenosaura pectinata*) y escorpión (*Heloderma horridum*), 16 especies de serpientes tales como la falso coralillo (*Lampropeltis triangulum nelsoni*) y cascabel (*Crotalus basiliscus*) y una especie de cocodrilo (*Crocodylus acutus*) (Lozano, 1993).

### **Actividad agrícola**

La Laguna de Agua Brava se encuentra ubicada entre los municipios de Tecuala, Rosa Morada y Santiago Ixcuintla, Nayarit. Los principales ríos que descargan en la laguna son el Río Acaponeta que fluye a través de los municipios de Acaponeta, Tecuala y Tuxpan, y el Río Bejuco que se ubica dentro del municipio de Rosa Morada. Los municipios de Tecuala y Acaponeta pertenecen al Distrito de Desarrollo Rural (DDR) de Acaponeta, mientras que los municipios de Santiago Ixcuintla, Rosa Morada y Tuxpan corresponden al DDR de Santiago Ixcuintla. Los productos agrícolas que se generan en los municipios antes mencionados, aproximadamente en 80, 000 ha, varían dependiendo del ciclo de siembra. Los principales cultivos que se producen en orden de importancia en el ciclo Otoño-Invierno son: sorgo, frijón, tabaco, maíz y tomate verde; y en el ciclo Primavera-Verano son: maíz, sorgo, sandía y arroz; y en cultivos perennes: mango, plátano y limón (SAGARPA, 2006). En general el tabaco y el sorgo son los principales productos de esta zona agrícola.

### **Diagnostico del uso de plaguicidas en la región norte de Nayarit.**

Las principales plagas que afectan a la Región Norte de Nayarit son: gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), gusano trozador (*Agrotis ipsilon*), gusano soldado (*Spodoptera exigua*), gusano falso medidor (*Pseudoplusia includens*), gallina ciega (*Phyllophaga* sp.), pulgón verde

(*Myzus persicae*), trips (*Frankliniella* sp.), mosca blanca (*Trialeurodes vaporarum* y *Bemisia* sp.), midge (*Contarinia sorghicola*) y minador de la hoja (*Liriomyza* sp.).

En esta región los principales plaguicidas utilizados, de acuerdo a los productores, para combatir estas plagas son: a) Lorsban 480 (clorpirifos), es un organofosforado que es usado para el control de gusanos. b) Lannate (metomilo), es un carbamato ocupado para el control del gusano barrenador, cogollero, peludo y del fruto. c) Ditiófosfato (Malation, es otro organofosforado para el control de gusanos y mosca blanca. Los principales grupos de plaguicidas utilizados por lo productores de esta región fueron: organofosforados con el 55 %, los carbamatos con el 23 %, los piretroides con el 10 %, otros con 10 % y organoclorados con 3 %. El endosulfán fue el único plaguicida organoclorado utilizado por los productores del Distrito de Temporal Tecnificado 009 El Bejuco y la zona de influencia del Centro de Apoyo al Desarrollo Rural # 4 (CADER-SAGARPA) Tecuala, Nayarit (Cisneros-Estrada y González-Farias, 2007).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para valorar la contaminación por plaguicidas OCs en el cuerpo lagunar de Agua Brava, se efectuaron dos muestreos uno en marzo del 2006 durante la temporada de secas y otro en julio del mismo año a inicios de lluvias, se colectaron muestras de agua y sedimento en 11 estaciones, una estación en el Estero de Cuautla, una en el Río Bejuco, dos en el Río Acaponeta y siete distribuidas dentro de la laguna de Agua Brava (Fig.2). La selección de las estaciones de muestreo fue estratégica considerando zonas de influencia agrícola, ríos que descargan en la laguna y zonas probables de sedimentación. En total se extrajeron 21 muestras de agua y 21 de sedimento para realizar un análisis cualitativo, cuantitativo y espacio-temporal de plaguicidas OCs dentro del área de estudio. Durante la época de lluvias fue imposible realizar el muestreo en la estación 2.

### **Variables fisicoquímicas**

Para conocer las condiciones de la laguna se midieron *in situ* algunos parámetros fisicoquímicos como salinidad, temperatura y pH para cada estación. La salinidad se determinó mediante un refractómetro, la temperatura superficial del agua y pH se obtuvieron mediante un potenciómetro.

### **Materia orgánica en sedimento y análisis granulométrico**

Las muestras de sedimento para ambos análisis se obtuvieron con una draga tipo Van Veen y mediante una espátula se colectaron alícuotas en recipientes de vidrio para refrigerarse y posteriormente analizarse. El porcentaje de materia orgánica en el sedimento se determinó mediante la técnica de oxidación con dicromato de potasio y titulación con sulfato ferroso propuesta por Gaudette (1974). El análisis granulométrico se realizó mediante un Analizador Láser de Partículas Beckman- Coulter Modelo LS230, el cual detecta tamaños de partículas en el intervalo de 0.04 a 2,000  $\mu\text{m}$ .

### **Muestreo de plaguicidas en campo**

Las muestras de sedimento y agua fueron colectadas y transportadas al laboratorio de acuerdo a los Manuales de Referencia de FAO-IAEA-IOC (1989) y EPA (1979), respectivamente.

La extracción de plaguicidas de las muestras de agua se realizó directamente en el campo mediante el siguiente procedimiento:

- Se colectó la muestra de agua en un recipiente ámbar de volumen conocido, 1,030 o 1,150 mL. El recipiente se sumergió de manera subsuperficial, aproximadamente a 30 cm de profundidad, en cada sitio de muestreo.
- Obtenida la matriz se retiraron 200 mL del recipiente.
- Posteriormente se adicionaron al recipiente 100 mL de una mezcla de n-hexano:éter etílico al 75 % y se agitó fuertemente durante 1 min aproximadamente. Terminada la agitación se extrajo mediante un embudo de separación la fase superior (fase orgánica), donde se encuentran los plaguicidas OCs, colocándola en un frasco ámbar de vidrio de 250 mL. Este proceso se repitió de igual forma con 100 mL de n-hexano introduciendo la fase orgánica en el mismo frasco ámbar, de manera que se obtuvieron 200 mL aproximadamente de extracto por cada estación de muestreo. Los extractos se transportaron en refrigeración al laboratorio y se mantuvieron en congelación hasta su análisis.

Las muestras de sedimento se tomaron con la ayuda de una draga tipo Van Veen y mediante una espátula metálica se colectó aproximadamente 400 gr de sedimento en frascos de vidrio lavados con hexano grado plaguicida, los cuales posteriormente se mantuvieron congelados hasta su análisis en el laboratorio.

### **Técnica para determinación de plaguicidas**

La preparación de las muestras de agua y sedimento y el análisis de plaguicidas para su determinación por cromatografía de gases, se realizaron siguiendo los procedimientos efectuados por Botello *et al.* (1994), Tolosa *et al.* (1996) y UNEP-IAEA (1982).

### **Determinación de plaguicidas en agua**

El extracto obtenido del campo se concentró hasta aproximadamente 5 mL mediante un destilador de rotación (rotovapor), con una temperatura del baño de 30 °C y una presión de la bomba de vacío de 40 psi. La limpieza de cada extracto fue mediante columnas de adsorción utilizando Florisil, éste se activó a 700 °C toda la noche, después se disminuyó la temperatura a 190 °C por dos horas y a continuación en un desecador se dejó hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se desactivó al 1.25 % con agua tridestilada y se utilizó al día siguiente.

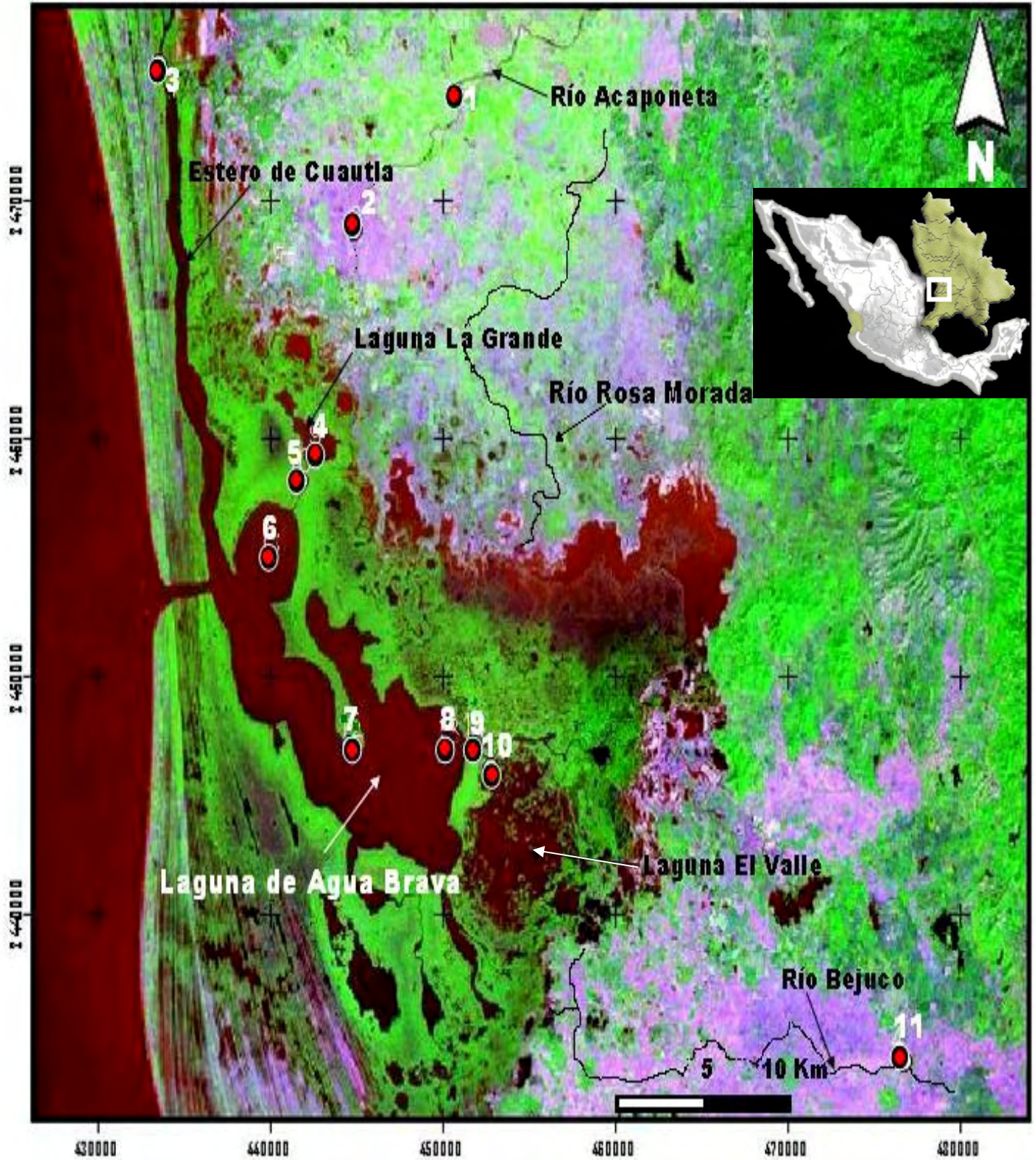


Figura 2. Área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo del sistema lagunar de Agua Brava, Nayarit. Imagen proporcionada por el departamento de información geográfica de la Universidad de Nayarit.



Las columnas se empacaron con fibra de vidrio, 13 g de Florisil desactivado inmerso en n-hexano y un poco sulfato de sodio anhidro para eliminar restos de agua, enseguida se lavó con n-hexano y se prepararon para aplicar el extracto concentrado.

Una vez empacadas las columnas el extracto concentrado se vertió y se eluyó con 60 mL de n-hexano. Después mediante un goteo lento, 1 gota por cada 5 segundos, se recuperaron los 60 mL de n-hexano que fue la **Fracción 1** que contenía a los BPCs (Bifenilos Policlorados). Posteriormente se colocaron en la columna 50 mL de n-hexano:éter etílico (9:1), seguido de 20 mL de n-hexano:éter etílico (8:2) y esta **Fracción 2** recuperada contenía los plaguicidas OCs.

Las dos fracciones fueron concentradas por separado mediante rotoevaporación a volúmenes menores para trasvasarlos a viales ámbar para posteriormente analizarlas en el cromatógrafo de gases (CG) con Detector de Captura de Electrones (ECD).

Para el análisis cromatográfico del muestreo de secas se empleó un cromatógrafo de gases con sistema capilar, Hewlett Packard Modelo 5890 A, equipado con ECD, fuente de poder  $^{63}\text{Ni}$  y columna capilar de 30 m de longitud por 0.25 mm de diámetro interno y 0.25  $\mu\text{m}$  de grosor de capa SPB-5 (sílice fundido, Fenil Metil silicón al 5 %); como gas acarreador se utilizó helio con un flujo de 1 mL/min y como gas auxiliar se empleó nitrógeno con un flujo de 30 mL/min. Condiciones del equipo: inyector: 260 °C, detector 320 °C y columna: 90-270 °C (rampa en 35 min). Las muestras se concentraron a un volumen de reconstitución de 1 mL y se inyectaron 2  $\mu\text{L}$  en el CG, los tiempos de retención y el área bajo la curva se midieron por medio de un integrador de áreas Hewlett Packard acoplado al CG. Límites de detección (LD): 0.01 ng/L para agua y 0.01 ng/g para sedimento.

Para el muestreo de lluvias se empleó un cromatógrafo de gases Agilent 6890, con ECD, con fuente de poder de  $^{63}\text{Ni}$ , columna capilar de 30 m de longitud por 0.25 mm de diámetro interno y 0.25  $\mu\text{m}$  de grosor de capa SPB-5 (5% Fenil Metil silicón); se utilizó helio como gas acarreador con un flujo de 1 mL/min y nitrógeno como gas auxiliar a un flujo de 30 mL/min. Condiciones del equipo: inyector: 260 °C, detector 320 °C y columna: 90-270 °C (rampa en 35 min). El volumen de reconstitución de la muestra fue de 2 mL y se inyectó 1  $\mu\text{L}$  en el CG, los tiempos de

retención y el área bajo la curva se midieron con un integrador de áreas acoplado al CG. LD: 0.01 ng/L para agua y 0.01 ng/g para sedimento.

La identificación y cuantificación de los plaguicidas OCs presentes en las muestras se realizó mediante el factor de respuesta comparando con los tiempos de retención y las áreas de los estándares de concentración conocida (20 ppb). El estándar utilizado, en ambos CGs, fue una mezcla de 16 plaguicidas organoclorados Chem Service (100mg/mL en tolueno:hexano; Clave PPO-8M), los cuales ordenados de manera ascendente por su tiempo de retención fueron:  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH (lindano),  $\delta$ -HCH, heptacloro, aldrín, epóxido de heptacloro, endosulfán I, *p,p'*-DDE, dieldrín, endrín, endosulfán II, *p,p'*-DDD, endrín aldehído, sulfato de endosulfán y *p,p'*-DDT.

#### **Determinación de plaguicidas en sedimento**

Para realizar el análisis de las muestras de sedimento, éstas se descongelaron a temperatura ambiente y posteriormente se secaron en un horno a 40 °C. Una vez seco el sedimento, éste se pulverizó y tamizó en una malla de 0.25 mm de diámetro de abertura. A continuación se pesaron 3 g de sedimento seco en un papel filtro y se realizó la extracción en un sistema Soxhlet, por 8 horas, con 200 mL de n-hexano. Terminada la extracción se concentró cada extracto en un rotovapor hasta 5 mL aproximadamente. La limpieza de los extractos con columnas de adsorción y el análisis cromatográfico, fueron realizados con los mismos procedimientos seguidos en las muestras de agua.

#### **Análisis estadístico**

La herramienta estadística utilizada fue un análisis de coeficiente de correlación simple de Pearson y una prueba de significancia de esta correlación, esto para determinar la fuerza de relación entre concentración de plaguicidas OCs, parámetros fisicoquímicos, materia orgánica y partículas sedimentarias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables fisicoquímicas

#### *Salinidad*

Durante el muestreo en la época de secas los valores de salinidad oscilaron entre 0 y 38 ups (Tabla 2 y Fig. 3), los valores de 0 ups se presentaron en las estaciones dentro de los ríos Acaponeta y Bejuco (Fig. 2). El Estero de Cuautla, estación 3 (Puente El Novillero), presentó una salinidad alta de 34 ups, debido a que es una zona donde se presenta una influencia importante de las mareas provenientes de la Boca de Cuautla (Castillo, 2005). Las demás estaciones dentro de la laguna presentaron valores entre 30 y 38 ups, observándose el valor más alto en la estación 10, estas altas salinidades se debieron fundamentalmente a la poca profundidad que propicia una fuerte evaporación (Álvarez *et al.*, 1986) y por la influencia marina sobre el cuerpo lagunar y el poco aporte de los ríos (Fig. 2).

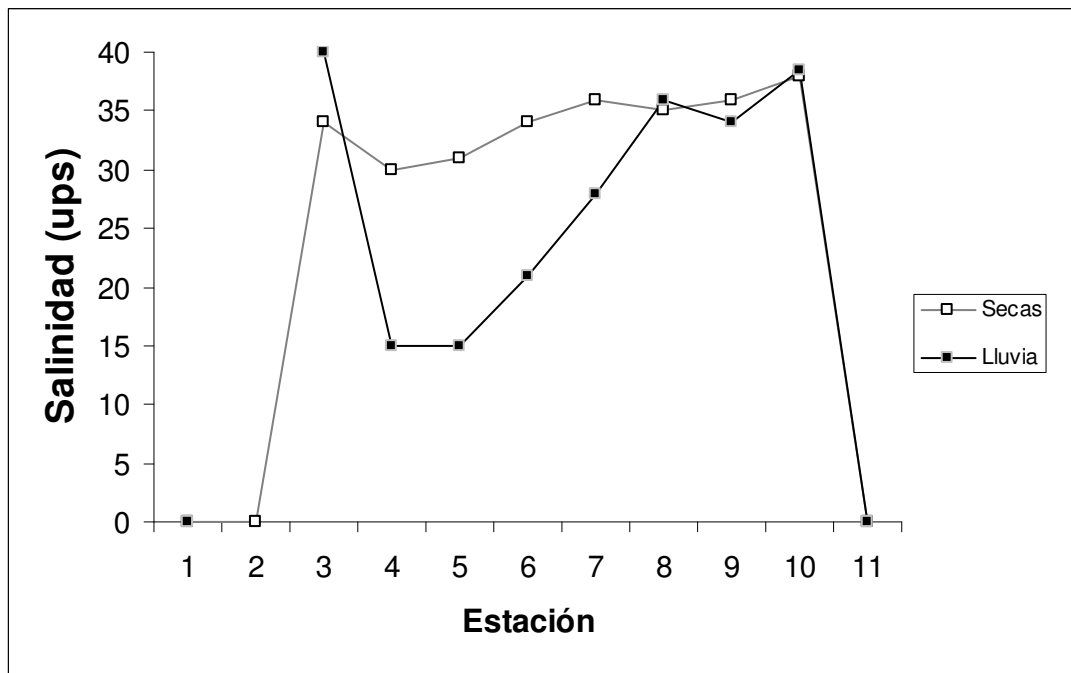


Figura 3. Variación temporal de la salinidad de los muestreos de secas (marzo 2006) y lluvias (julio 2006) de las estaciones de muestreo. Valores puntuales.

En el muestreo realizado a inicios de lluvias las salinidades fluctuaron de 0 a 40 ups (Tabla 2). En los ríos Bejuco y Acaponeta se mantuvieron los valores en 0 ups, mientras que la estación del Estero de Cuautla presentó un valor mayor que en época de secas, 40 ups, este aumento se le puede atribuir a que existió un lavado, por efecto de las lluvias, de las sales acumuladas durante

la época de secas en el Estero de Teacapán y en las marismas alrededor de la zona (Fig. 2). De igual forma en la estación 10 se observó una salinidad mayor, 38.5 ups, que en época de secas, quizás también debido a la concentración salina proveniente de la Laguna El Valle hacia la Laguna de Agua Brava. En las estaciones 4 y 5, ubicadas dentro de la Laguna de Agua Brava, hubo una disminución significativa de salinidad con respecto al muestreo de secas, esto debido a que es una zona donde descargan grandes escurrimientos continentales, principalmente del Río Acaponeta y drenes agrícolas (Castillo, 2005). En las otras estaciones dentro de la laguna se observó una baja de salinidad en comparación al periodo de secas, lo cual demostró el inicio y la influencia de los escurrimientos continentales hacia este cuerpo lagunar (Fig. 3).

El comportamiento de la salinidad en algunos sistemas costeros está dado por la estacionalidad, aportes fluviales, influencia marina y de la evaporación, fundamentalmente (de la Lanza y Gómez, 1999).

Tabla 2. Datos fisicoquímicos obtenidos durante el muestreo de secas (marzo 2006) y lluvias (julio 2006) de las estaciones analizadas en el área de estudio.

Estación	Salinidad (ups)		Temperatura (°C)		pH	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
1	0	0	31.8	35	7.15	7.14
2	0	-	26	-	-	-
3	34	40	26.7	35.4	7.3	7.2
4	30	15	26	32.9	7.5	6.8
5	31	15	25.6	33.6	7.26	6.9
6	34	21	26.7	33.2	7.5	7.04
7	36	28	28.1	33.4	7.3	7.01
8	35	36	26.3	33.3	7.43	6.93
9	36	34	26.2	32.4	7.25	7.06
10	38	38.5	26.2	33.4	7.5	6.96
11	0	0	24	33.3	-	-

### *Temperatura superficial del agua*

Los datos obtenidos de temperatura del agua en el mes de marzo, muestreo de secas, varían de los 24 a 31.8 °C (Tabla 2 y Fig. 4). La mayoría de las estaciones presentaron temperatura similares, en promedio 25.3 °C, las cuales corresponden a las temperaturas ambientales de la zona. La mayor temperatura se registró en la estación 1, correspondiente a una estación dentro del Río Acaponeta, este valor alto se explica debido a que esta parte del río presentaba poco volumen de

agua y tenía poco movimiento, por lo que alcanzó una mayor temperatura que otras estaciones. La menor temperatura correspondió a la estación 11 localizada dentro del Río Bejuco.

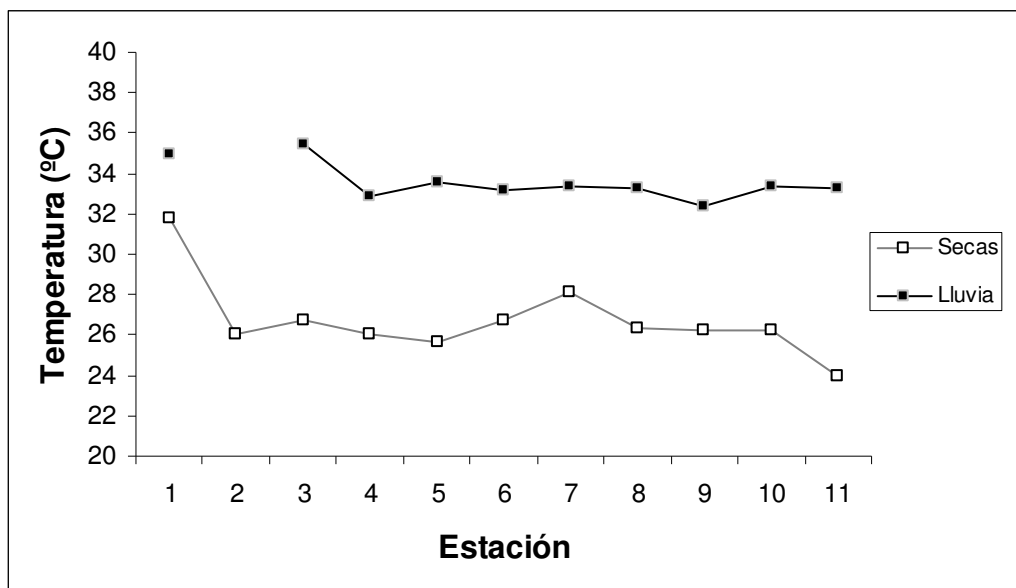


Figura 4. Temperatura superficial del agua en las estaciones de muestreo durante la época de secas (marzo 2006) y lluvias (julio 2006). Valores puntuales.

En el muestreo de julio, inicios de lluvias, las temperaturas superficiales del agua variaron de 33.4 a 35.4 °C y fueron mayores que las del muestreo de secas (Tabla 2). De igual forma estas temperaturas reflejaron la temperatura atmosférica característica de la época de verano de la zona. Estas temperaturas fueron muy constantes en todas las estaciones de muestreo, difiriendo sólo por 1 o 2 °C (Fig. 4).

### ***pH***

El pH de los cuerpos de agua dulce oscilan entre 6.5 y 8.5, mientras que el pH del agua marina fluctúa alrededor de 8 (Libes, 1992). Los valores de pH obtenidos durante los dos muestreos oscilaron entre 6.8 y 7.5 (Tabla 2), los más altos se obtuvieron en el periodo de secas con un promedio de 7.39 y los valores más bajos se obtuvieron durante el periodo de lluvias con un promedio 7 (Fig. 5). La explicación de la diferencia entre valores de pH puede ser por diversos factores, entre los cuales podemos mencionar los siguientes: la cantidad de carbonato de calcio que influye en la capacidad buffer para prevenir grandes fluctuaciones en el pH, la actividad fotosintética que a través de la captación de CO<sub>2</sub> induce un incremento de pH, la respiración que

mediante la liberación de CO<sub>2</sub> promueve el decremento de pH, el flujo y remineralización de materia orgánica particulada, temperatura y salinidad entre otros (Libes, 1992; Millero, 1996).

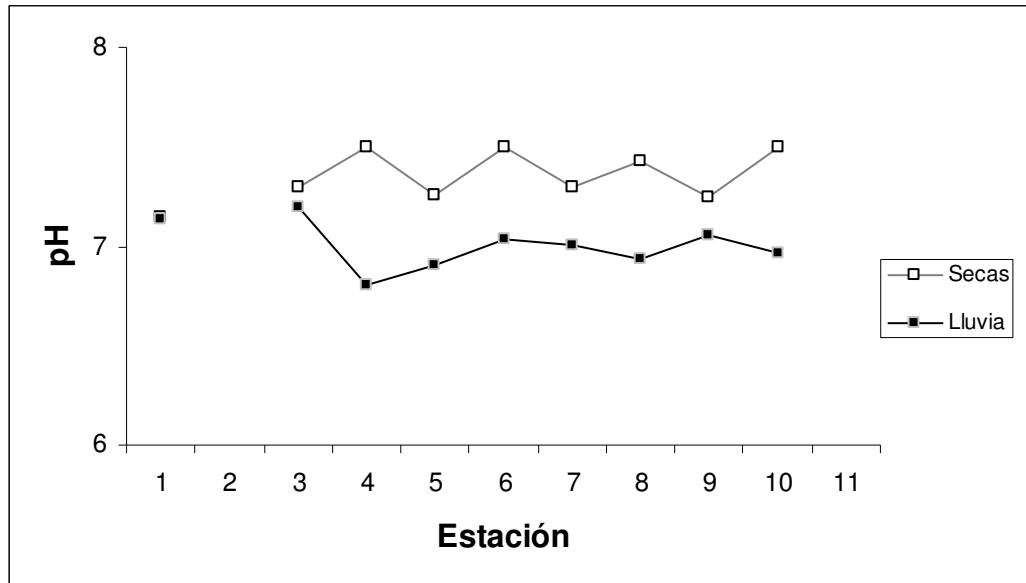


Figura 5. Variación temporal del pH durante los muestreos de secas (marzo 2006) y lluvias (julio 2006) en las estaciones de muestreo. Valores puntuales.

### Materia orgánica en sedimento

El término materia orgánica (MO) se refiere a la mezcla de compuestos orgánicos como lípidos, lignina, celulosa, proteínas, sustancias húmicas y otros compuestos provenientes de restos de plantas y animales generados dentro y alrededor de los cuerpos de agua (Meyers, 1997). También existen desechos de origen antropogénico ricos en MO, como los desechos urbanos y los efluentes de plantas procesadoras de alimentos, de la industria del papel y las granjas de cultivo acuícola. La MO de origen natural puede ser producida *in situ* (autóctona) o transportada desde su zona de origen hacia el sistema acuático mediante transporte eólico o escorrentía (alóctona) (Kordel, 1997).

La MO procedente de las comunidades lagunares y terrestres tienen como destino común la fase sedimentaria, donde se llevan a cabo procesos de remineralización, detritificación y humificación (de la Lanza, 1987). La diagénesis temprana de la MO es la combinación de procesos biológicos, químicos y físicos que destruyen entre 30 y 99 % de la MO durante la sedimentación, usualmente influenciados por la acción microbiana, así que la concentración de MO presente en la columna

sedimentaria es en realidad la fracción remanente que ha escapado de la remineralización (Radke *et al.*, 2003).

### ***Época de secas***

En el presente estudio los porcentajes de MO en la época de secas variaron del 0.38 al 19.08 % (Tabla 3 y Fig.6). Los valores más bajos correspondieron a las estaciones 1, 2, 3 y 11, las cuales están localizadas en los ríos Acaponeta, Bejuco y El Estero de Cuautla (Fig. 2). Estos bajos porcentajes pueden ser debido a que la falta de lluvia evita el escurrimiento del material orgánico alóctono, poca producción autóctona de MO, a la alta remineralización de la MO y/o a que no es retenida en los sedimentos. Los porcentajes altos de MO en secas se localizaron de las estaciones 6 a 10, localizadas dentro del sistema lagunar de Agua Brava, estos porcentajes pueden atribuirse a que son zonas de sedimentación donde existe una gran producción de MO del mismo cuerpo lagunar y/o proveniente de los ríos.

Tabla 3. Porcentajes de materia orgánica en sedimento obtenidos para la época de secas (marzo 2006) y lluvias (julio 2006) en el área de estudio.

<b>Estación</b>	<b>% Materia Orgánica</b>	
	Secas	Lluvias
<b>1</b>	0.38	1.92
<b>2</b>	0.97	-
<b>3</b>	1.73	1.12
<b>4</b>	6.68	8.66
<b>5</b>	5.18	4.48
<b>6</b>	7.77	7.43
<b>7</b>	12.55	18.95
<b>8</b>	19.08	17.08
<b>9</b>	9.38	10.88
<b>10</b>	17.75	12.39
<b>11</b>	3.02	1.41

### ***Época de lluvias***

La cantidad de MO detectada durante la época de lluvias fluctuó del 1.12 al 18.95 % (Tabla 3 y Fig.6). El comportamiento de los datos fue similar a la época de secas, los porcentajes bajos se presentaron en las estaciones 1, 3 y 11 localizadas en los ríos y el estero. Debido a que la MO particulada en el agua representa la mayor fuente de MO en el sedimento (de la Lanza, 1986b), estos bajos porcentajes podrían deberse a que el efecto de la lluvia, que aunque propicia la

escorrentía de la MO alóctona, ocasiona en estas áreas una alta velocidad de corriente donde difícilmente sedimenta el material particulado. Por otro lado, los porcentajes altos de MO se presentaron en las estaciones más influenciadas por el cuerpo lagunar, 6 a la 10, esto debido a que son zonas de depositación de la MO autóctona y alóctona proveniente de los ríos y dentro del mismo cuerpo lagunar.

Los valores de MO para secas y lluvias no presentaron mucha diferencia, lo cual podría indicar que el sistema funciona como una zona de depósito de material orgánico en ambas épocas.

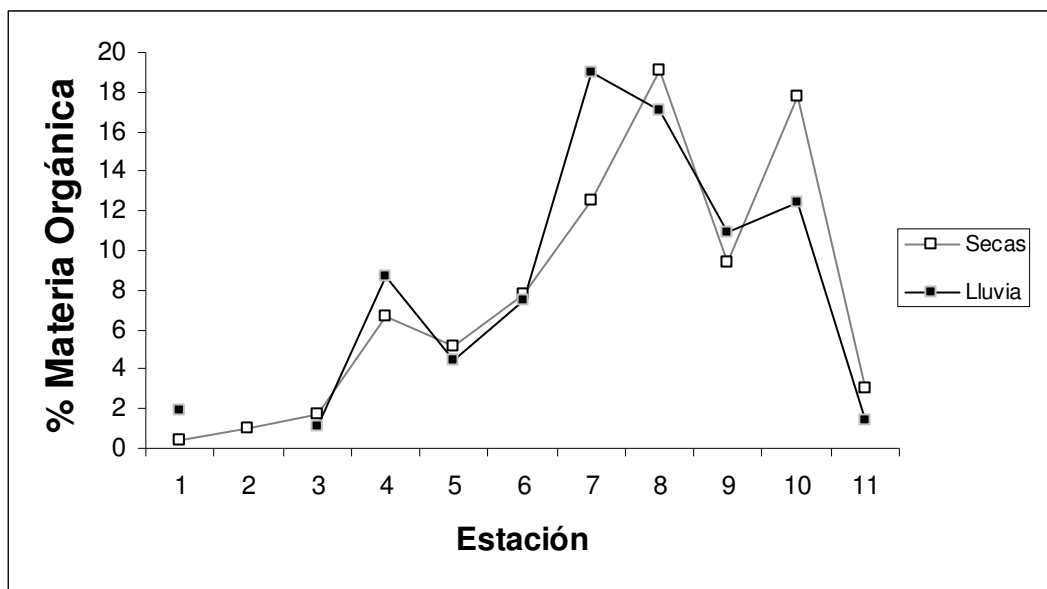


Figura 6. Variación temporal del porcentaje de materia orgánica durante la época de secas (marzo 2006) y lluvias (julio 2006) en las estaciones de muestreo. Valores puntuales.

El contenido de MO en sedimentos encontrado en el presente estudio, se localizó entre los valores de 0.38 a 19.08 %, estos fueron menores comparados con los valores de MO de 7.08 a 34.9 % reportados en la laguna La Joya-Buena Vista en Chiapas (Contreras y Zabalegui, 1991) y los valores de 4.02 a 30.8 % detectados en el Estuario Seine en Francia (Mesnage *et al.*, 2002). En cambio el contenido de MO fue mayor que los datos de registrados en sedimentos superficiales de la laguna Chautengo en Guerrero con 0.80 a 6.2 % (Páez-Osuna *et al.*, 1984), el sistema lagunar Huizache y Caimanero en Sinaloa con 3.06 a 14.40 % (de la Lanza, 1986b), la laguna Ohuira en Sinaloa con porcentajes de 0.02 a 4.4 % (Ruiz-Fernández *et al.*, 2007) y la laguna de Alvarado en Veracruz con porcentajes de MO de 0.06 a 1.91% (Rosales *et al.*, 1986).



Por lo que el sistema lagunar de Agua Brava mostró un contenido de MO promedio comparado con otros sistemas costeros.

La diferencia entre la cantidad de MO puede deberse a que cada sistema tiene sus propias características ambientales, componentes biológicos (productores primarios terrestres y acuáticos), dinámica de transporte y procesos biogeoquímicos que determinaran los procesos de acumulación y degradación del material orgánico.

### **Análisis granulométrico**

El análisis granulométrico permite determinar la cantidad respectiva de los diferentes elementos sedimentarios (gravas, arenas, limos y arcillas) y asimismo interpretar su significado dinámico, esto debido a que sus componentes indican la velocidad de corriente, dinámica del transporte y depositación de material dentro del sistema acuático analizado (Krumbein y Sloss, 1969).

### ***Época de secas***

En el muestreo de secas se observa que las estaciones 1, 2 y 11, ubicadas en los ríos, Acaponeta y Bejuco (Fig. 2), presentan un gran porcentaje de arenas con pocos limos y arcillas (Tabla 4 y Fig. 7). Esto indica que son puntos con poca depositación de limos y arcillas, lo cual puede atribuirse a que son zonas donde se inicia el intemperismo o erosión de las partículas sedimentarias gruesas (gravas y arenas), es decir que es un sedimento inmaduro. Otra posibilidad es que debido a la poca corriente de los ríos, escasez de lluvia y poco viento, el transporte de las partículas finas (limos y arcillas) hacia los ríos es menor. Mientras que en la estación 3, ubicada en el estero de Cuautla, el alto porcentaje de arenas se explica debido a que era una zona con alta velocidad de corriente (esto observado durante el muestreo) que no permitió el asentamiento de los limos y arcillas en el sedimento. Las gravas presentes en las estaciones dentro del sistema lagunar en realidad sólo correspondían a fragmentos de conchas, por lo que no tenían origen terrígeno. Mientras que en la estación 11 las gravas correspondieron a pequeñas rocas de origen terrígeno.

Por otro lado, en las estaciones localizadas dentro del sistema lagunar, estaciones 4 a 7, los porcentajes de limos y arcillas son mayores que las arenas (Tabla 4 y Fig. 7), esto indica que estas áreas funcionan como una zona de asentamiento de limos y arcillas transportadas por el río permanente Acaponeta, que son el producto de la intemperización de arenas y gravas realizada a

lo largo de todo el trayecto del río hasta el sistema lagunar. En cambio, en las estaciones 8 a 10 localizadas también dentro de la laguna el porcentaje de arenas es mayor que el de limos y arcillas, lo cual indica que estas partículas finas no son transportadas hacia estas zonas debido a que el río Bejuco permanece seco y aporte del río Rosa Morada es menor durante esta época (Tabla 1).

### *Época de lluvias*

En los porcentajes de partículas sedimentarias para el muestreo de lluvias, se observó que los mayores porcentajes de arenas se localizaron en las estaciones de los ríos y el estero de Cuautla (Tabla 4 y Fig. 7). En forma más puntual las estaciones 1 y 11, ubicadas en los ríos Acaponeta y Bejuco, respectivamente, presentaron una mayor cantidad de limos y arcillas que en la época de secas, esto podría explicarse a que la lluvias producen escorrentías que propiciaron un mayor transporte de estas partículas hacia los ríos.

Tabla 4. Composición sedimentaria obtenida durante la época de secas y lluvias en las estaciones de muestreo.\* Las gravas en las estaciones dentro de la laguna correspondieron en su totalidad a fragmentos de conchas.

<b>Análisis del Tamaño de Partículas (%)</b>								
	<b>Época de Secas</b>				<b>Época de Lluvias</b>			
<b>ESTACIÓN</b>	<b>GRAVAS*</b>	<b>ARENAS</b>	<b>LIMOS</b>	<b>ARCILLAS</b>	<b>GRAVAS*</b>	<b>ARENAS</b>	<b>LIMOS</b>	<b>ARCILLAS</b>
<b>1</b>	0.310	85.928	10.633	3.129	0	82.493	13.471	4.036
<b>2</b>	0.087	87.220	9.829	2.865	-	-	-	-
<b>3</b>	0.730	90.721	5.406	3.143	0	91.378	5.710	2.912
<b>4</b>	9.436	32.209	38.346	20.009	10.711	12.473	31.330	45.486
<b>5</b>	11.116	30.398	35.585	22.901	13.053	14.748	30.983	41.215
<b>6</b>	0	9.419	69.954	20.627	0	7.254	75.420	17.327
<b>7</b>	21.997	34.999	36.281	6.724	18.883	45.465	28.179	7.473
<b>8</b>	4.314	63.887	25.336	6.463	0.610	34.394	54.352	10.643
<b>9</b>	0.212	80.817	13.281	5.690	1.647	35.402	46.884	16.067
<b>10</b>	16.229	64.334	14.900	4.537	2.657	33.030	46.022	18.291
<b>11</b>	47.892	42.740	6.466	2.902	0	76.311	19.153	4.536

En las estaciones 4, 5, 6, 8, 9 y 10, ubicadas en el sistema lagunar, se observó un mayor porcentaje de limos y arcillas que arenas, reiterando que la presencia de lluvia propicia un mayor transporte de partículas menores provenientes de los ríos y de las escorrentías continentales hacia el cuerpo lagunar.

La correlación entre la cantidad de MO y limos-arcillas, para ambas épocas, no fue significativa ( $p>0.05$ ), lo cual explicaría por que algunas zonas de depósito de MO son diferentes a los sitios de acumulación de limos y arcillas.

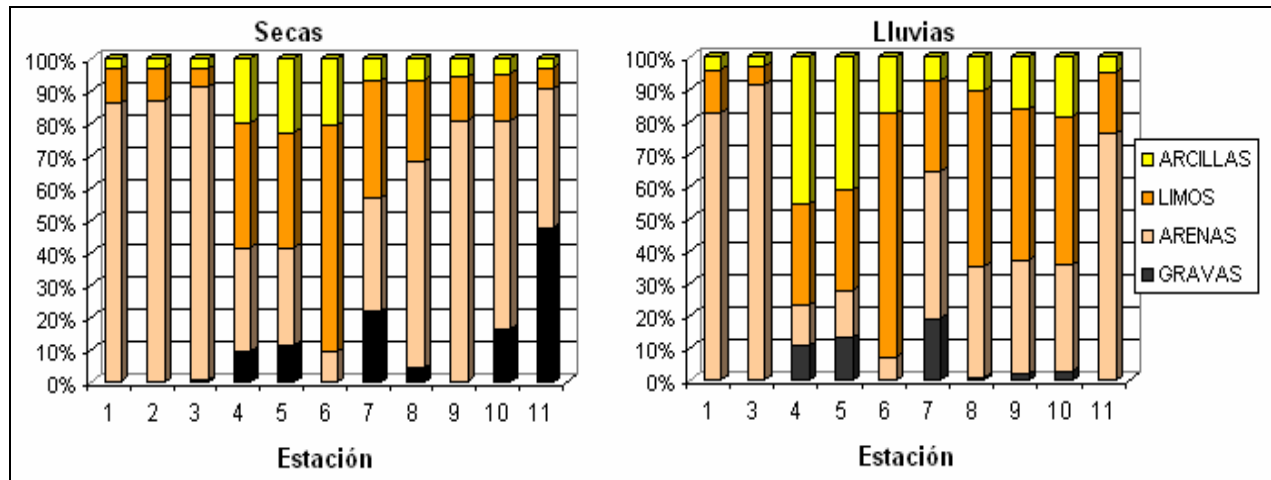


Figura 7. Porcentaje de partículas sedimentarias en la época de secas (marzo 2006) y lluvias (julio 2006) en las estaciones de muestreo. Las gravas en las estaciones dentro de la laguna (4-10) realmente correspondieron a fragmentos de conchas.

### Plaguicidas organoclorados en agua

Varios de los plaguicidas OCs analizados son poco o prácticamente insolubles en agua (Tabla 5), por lo que su presencia en esta matriz puede deberse a diversos factores, entre otros, la adsorción o interacción de los plaguicidas a la materia orgánica suspendida, la reincorporación de los contaminantes a la columna por resuspensión de sedimentos, las altas temperaturas, pH y bajas salinidades que favorecen la solubilidad de los plaguicidas (Castillo, 2005; Kalbitz *et al.*, 1997; Lydy *et al.*, 1990). Pero también influyen el tiempo de muestreo, el período de aplicación de plaguicidas en los cultivos y aportes pluviales que determinan el transporte y dilución de estos compuestos en el ambiente.

### Época de secas

En las muestras de agua obtenidas en la época de secas se encontraron 14 de los 16 plaguicidas OCs analizados (Tabla 6). Los plaguicidas no registrados fueron el dieldrín y el *p,p'*-DDE. En cambio, los OCs que se presentaron en la mayoría de las estaciones fueron el  $\delta$ -HCH y el heptacloro.

Las estaciones 1 y 10 presentaron más tipos de plaguicidas, 7 y 8 respectivamente, que las otras estaciones durante este muestreo, en cambio la estación 5 sólo registró 2 de los plaguicidas OCs analizados (Tabla 6). La concentraciones de plaguicidas en agua fueron muy bajas con valores cercanos al límite de detección (0.01ng/L), el mayor valor de concentración perteneció al sulfato de endosulfán (0.031 ng/L) en la estación 1 (Río Acaponeta-Milpas Viejas) (Tabla 7).

Tabla 5. Solubilidad en agua de algunos plaguicidas OCs (Howard, 1991).

<b>Plaguicida</b>	<b>Solubilidad en Agua</b>
$\alpha$ -HCH	2 mg/mL (ppm)
$\beta$ -HCH	0.70 mg/mL
$\gamma$ -HCH (lindano)	2 mg/L a 25 °C
$\delta$ -HCH	21.3 mg/mL a 25 °C
Aldrín	0.02 mg/L a 20°C
Dieldrín	0.17 mg/L a 20°C
Endrín	0.25 $\mu$ g/L a 25°C
Endrin Aldehído	30 mg/mL a 25 °C
Heptacloro	0.18 mg/L
Epóxido de Heptacloro	0.20 mg/L
Endosulfán I	0.51 mg/L a 20°C
Endosulfán II	0.45 mg/L a 20°C
Sulfato de Endosulfán	----
<i>p,p'</i> -DDE	---
<i>p,p'</i> -DDD	----
<i>p,p'</i> -DDT	< 1 mg/L

Considerando la suma total de la concentración de todos los plaguicidas OCs presentes en cada estación, las estaciones con mayor concentración de OCs en agua fueron la 1 y 10 presentando ambas valores de 0.10 ng/L. En cambio, las estaciones con menos concentración total de OCs fueron la estación 5 con 0.027 ng/L y estación 2 con 0.03 ng/L (Tabla 7 y Fig. 8). La mayor concentración en la estación 1, ubicada en el Río Acaponeta-Milpas Viejas, se debe a que se localizó rodeada de diversos cultivos donde el contacto con los plaguicidas acumulados en los suelos agrícolas era más directo. La estación 10, que es una ruta de entrada hacia la laguna, presentó una mayor concentración quizás debido a la influencia de los plaguicidas concentrados en los cultivos, estos compuestos fueron transportados por los drenes y el río Rosa Morada hacia el sistema durante la época de secas. Aunque dentro de esta zona agrícola el distrito de riego es de

temporal, existen algunas parcelas con riego durante la época de secas que favorecen el transporte de los plaguicidas hacia este sistema.

Tabla 6. Plaguicidas OCs detectados en agua y sedimento durante la época de secas (marzo 2006) y época de lluvias (julio 2006) en las 11 estaciones de muestreo.

Estación	Muestreo época de secas		Muestreo época de lluvias	
	Agua	Sedimento	Agua	Sedimento
	Plaguicidas Registrados	Plaguicidas Registrados	Plaguicidas Registrados	Plaguicidas Registrados
<b>1</b>	7	4	0	4
<b>2</b>	3	11	s/muestra	s/muestra
<b>3</b>	5	13	0	0
<b>4</b>	3	3	0	2
<b>5</b>	2	10	0	3
<b>6</b>	3	8	0	1
<b>7</b>	4	11	0	4
<b>8</b>	5	8	0	4
<b>9</b>	3	10	0	2
<b>10</b>	8	6	0	2
<b>11</b>	6	11	0	1
Plaguicidas del estándar	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>8</b>

### *Época de lluvias*

En las muestras de agua obtenidas durante esta época, no se detectó ninguno de los 16 plaguicidas OCs analizados en las estaciones de muestreo. Debido a que posiblemente sus concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección (0.01ng/L),

### *HCHs*

La concentración total de los isómeros  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH (lindano), considerando todas las muestras de agua para la época de secas, fue de 0.01, 0.061 y 0.03 ng/L, respectivamente, y el isómero  $\delta$ -HCH presentó la mayor concentración total con 0.11 ng/L (Tabla 10). El uso del lindano esta prohibido en México desde 1998, dada su corta persistencia (2 años) el localizar residuos en el agua demuestra que este compuesto se sigue utilizando o hubo una resuspensión de los sedimentos.

### *Aldrín*

Para la época de secas el aldrín presentó una concentración total en agua de 0.01 ng/L y el dieldrín no se detecto en esta matriz (Tabla 10). El aldrín también es un plaguicida prohibido para

su uso agrícola desde 1998, su persistencia es de 5 años y el detectarlo en agua indicaría que aún se está diluyendo desde su prohibición o que se sigue utilizando.

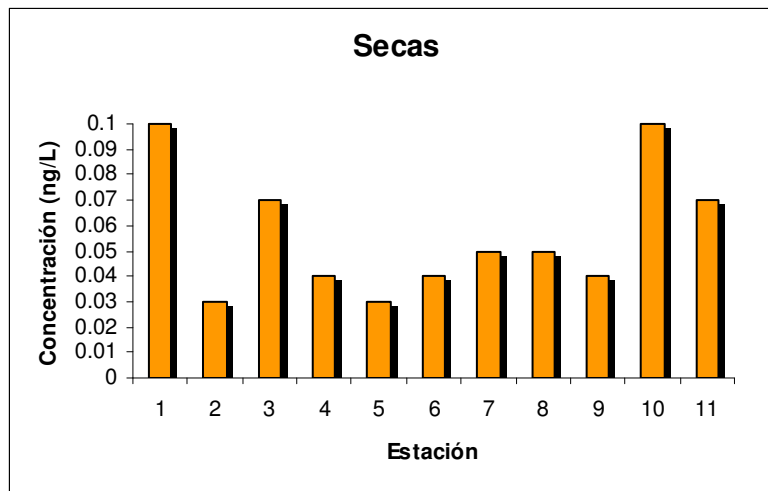


Figura 8. Suma de la concentración de todos los OCs en agua por estación durante la época de secas (marzo 2006).

#### ***Endrín y endrín aldehído***

Durante la época seca el endrín registró una concentración total en agua de 0.01 ng/L y su metabolito el endrín aldehído presentó 0.03 ng/L (Tabla 10). El cociente de endrín/endrín aldehído fue de 0.33 indicando que existe mayor cantidad del metabolito que su predecesor, esto quizás a que en el agua su tasa de degradación del endrín es más rápida y el endrín aldehído es más soluble en agua, por lo que su producto de degradación presenta mayores concentraciones.

#### ***Heptacloro y epóxido de heptacloro***

El heptacloro presentó una concentración total en agua, en todo el muestreo de secas, de 0.18 ng/L y su metabolito el epóxido de heptacloro registro una concentración de 0.034 ng/L (Tabla 10), por lo que el valor del cociente heptacloro/epóxido de heptacloro fue de 5.29, lo cual podría indicar que el heptacloro aún se aplica. En el catálogo oficial de la CICOPLAFEST (2004) no aparece listado el heptacloro, es decir que no se encuentra registrado, lo que significa que es un plaguicida no autorizado en México.

#### ***Endosulfán y endosulfán sulfato***

El endosulfán I y II, en conjunto, presentaron una concentración total en agua de 0.041 ng/L y su metabolito el sulfato de endosulfán registró una concentración de 0.053 ng/L (Tabla 10), el valor del cociente endosulfán I+II/sulfato de endosulfán fue de 0.76, lo cual puede indicar que el

endosulfán, un plaguicida OC de uso permitido en México (CICOPLAFEST, 2004), se está degradando.

### ***DDTs***

La concentración total del *p,p'*-DDT en agua, para la época de secas, fue de 0.029 ng/L, mientras que la concentración del *p,p'*-DDD, único metabolito presente en las muestras de agua, fue de 0.031 ng/L (Tabla 10). La poca concentración del DDT significaría que actualmente se sigue degradando desde su prohibición en México a finales de los noventa debido a que su persistencia es mayor a 10 años. Por otro lado, al considerar el cociente DDT/DDD el valor obtenido es de 0.94, lo cual nos podría indicar que posiblemente el DDT no se sigue aplicando en la actualidad y que se está degradando en el ambiente. Pero el hecho de detectar este plaguicida en agua puede indicar que se sigue utilizando en la actividad agrícola o que son residuos de las campañas de sanidad contra especies vector.

### ***Comparación temporal***

En el sistema lagunar de Agua Brava las muestras de agua presentaron una mayor concentración de OCs durante la época de secas, en comparación a la época de lluvias donde las concentraciones de OCs no se detectaron. Estos resultados pueden atribuirse a que las lluvias lavan y diluyen por completo los plaguicidas de las zonas de siembra, transportándolos rápidamente fuera del sistema lagunar, ayudados por los aportes de los ríos Acaponeta, Rosa Morada y Bejuco (Tabla 1). Posiblemente en las primeras lluvias se genera un pulso de entrada de grandes cantidades de OCs al sistema, producido por este lavado y acarreo, pero no se detectaron en el muestreo debido a que éste no se realizó inmediatamente después de los primeros chubascos. La presencia de plaguicidas OCs en esta matriz, a pesar de su poca solubilidad, puede indicar una resuspensión del sedimento o que estos compuestos aún se utilizan en las zonas de cultivo (Castillo, 2005).

Tabla 7. Concentración de plaguicidas OCs (ng/L) detectados en agua durante la época de secas (marzo 2006) LD= 0.01 ng/L

<b>Laguna de Agua Brava, Nayarit</b>											
<b>Época de Secas</b>											
<b>Muestras de Agua</b>											
<b>Concentración Plaguicidas OCs (ng/L)</b>											
Estación Plaguicida	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\alpha$ -HCH	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\beta$ -HCH	-	-	-	-	-	-	0.012	0.013	0.012	0.013	0.01
$\gamma$ -HCH (lindano)	0.01	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	0.01
$\delta$ -HCH	0.013	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.011	0.01	0.011	0.01	0.01
Heptacloro	0.017	0.01	0.01	0.02	0.018	0.025	0.017	0.011	0.021	0.018	0.019
Aldrín	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-
Epóxido de Heptacloro	-	0.01	0.014	-	-	-	-	-	-	-	0.01
Endosulfán I	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-
Endrín	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endosulfán II	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	0.011	-
<i>p, p'</i> -DDD	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	0.012	0.01
Endrín aldehído	-	-	0.01	-	-	-	-	0.01	-	0.01	-
Endosulfán Sulfato	0.031	-	-	-	-	-	0.013	-	-	0.01	-
<i>p, p'</i> -DDT	-	-	0.011	-	-	-	-	-	-	0.018	-
<b>Concentración total de OCs</b>	<b>0.1014</b>	<b>0.030</b>	<b>0.066</b>	<b>0.040</b>	<b>0.027</b>	<b>0.044</b>	<b>0.053</b>	<b>0.054</b>	<b>0.044</b>	<b>0.101</b>	<b>0.068</b>



## Plaguicidas organoclorados en sedimento

### *Época de secas*

Para la época de secas las muestras de sedimento presentaron 15 de los 16 OCs del estándar de plaguicidas (Tabla 6). El plaguicida no detectado sólo fue el  $\alpha$ -HCH. Por otro lado, el epóxido de heptacloro se registró en 10 de las 11 estaciones. Las mayores concentraciones de plaguicidas OCs en sedimentos se detectaron en esta época de secas.

La estación 3 presentó 13 plaguicidas OCs, siendo la de mayor diversidad dentro del muestreo de secas. La estación 4 sólo se detectaron tres plaguicidas OCs (Fig. 2). La concentración menor de plaguicidas examinados se presentó en la estación 1 (Río Acaponeta-Milpas Viejas) para el aldrín con 0.31 ng/g, mientras que, la mayor concentración se localizó en la estación 9 para el epóxido de heptacloro con 280.43 ng/g.

En la suma de la concentración total de plaguicidas OCs detectados en sedimento para cada estación, durante la época de secas, se observó la mayor concentración total en la estación 9 con 333.53 ng/g y la menor concentración total fue en la estación 1 con 4.0 ng/g (Tabla 8 y Fig. 9). La alta concentración de la estación 9 puede deberse a la influencia de los plaguicidas transportados por los drenes y el río Rosa Morada que se concentran en esta zona durante la época de secas.

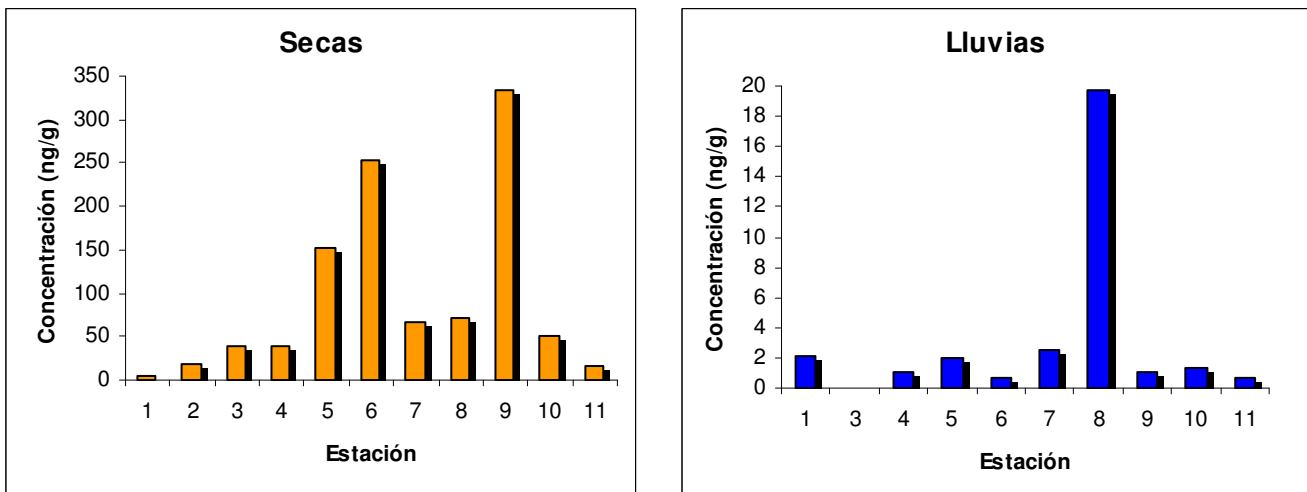


Figura 9. Suma de la concentración de todos los OCs en sedimento por estación durante la época de secas (marzo 2006) y lluvias (julio 2006).

La concentración alta de OCs en la estación 9 en secas, se comportó de manera diferente a otras estaciones, este debido a que no es una zona de alta depositación, ya que tiene relativamente poco contenido de limos-arcillas y MO, pero presento la más alta concentración de OCs en todo el muestreo. La explicación a este comportamiento puede ser debido a que, como se vera más adelante, la interacción de las partículas finas y MO con los plaguicidas no determina esta distribución. Por lo cual esta podría ser una zona de acumulación de plaguicidas OCs, durante la época de secas, provenientes del río Rosa Morada influenciada débilmente por el contenido de limos-arcillas y MO.

### ***Época de lluvias***

Para la época de lluvias las muestras de sedimento presentaron ocho de los 16 estándares de plaguicidas estudiados (Tabla 6). Los plaguicidas registrados fueron:  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH (lindano),  $\delta$ -HCH, heptacloro, aldrín, endrín y *p,p'*-DDD. El  $\delta$ -HCH fue el plaguicida OC que se registró en ocho de las 10 estaciones.

Las estaciones 1, 7 y 8 fueron las que presentaron mayor diversidad de plaguicidas, con cuatro plaguicidas OCs en cada una, mientras que la estación 3 no detecto ningún tipo de plaguicida OC. La menor concentración de OCs detectados lo presentó el  $\alpha$ -HCH con 0.24 ng/g en la estación 4 y la mayor concentración fue para el aldrín con 9.42 ng/g en la estación 8.

En la concentración total de OCs en sedimento por estación, en época de lluvias, se observó que la mayor concentración total se localizó en la estación 8 con 19.71 ng/g, en cambio, la menor concentración total la presentó la estación 6 con 0.68 ng/g (Tabla 9 y Fig. 9). La alta concentración de OCs en la estación 8 (Fig. 2), provenientes del río Rosa Morada y Bejuco, puede deberse a que es una zona de aislamiento y enterramiento de estos contaminantes que fueron poco removidos por el lavado de las lluvias. En cambio, en la estación 6 (Fig. 2) donde sería una zona de depositación se presentó la menor concentración total, esto podría deberse a que el gran aporte de agua durante la época de lluvias del Río Acaponeta (Tabla 1) no permitió la sedimentación de los plaguicidas en esta zona de entrada hacia la laguna de Agua Brava. Esto demuestra que los sistemas fluviales juegan un papel importante en la dispersión y transporte de los plaguicidas OCs en este sistema lagunar.

En la época de lluvias se obtuvo que las estaciones 7 y 8, donde se mostró depositación de MO y limos-arcillas, presentaron una mayor cantidad de OCs. En cambio en otras estaciones donde esta depositación también se observó, estaciones 6, 9 y 10, hubo una menor cantidad de OCs en el sedimento. Esto puede ser algo contradictorio, pero como se mencionó antes y se mencionara más adelante, la composición de los sedimentos en el presente trabajo no explica el comportamiento de las concentraciones de OCs en cada estación. Pero también al observar la tabla donde se describe la concentración de OCs por estación (Tabla 9), se muestra que estos valores en realidad no presentaron grandes diferencias de magnitud entre ellas, en comparación con lo ocurrido en las estaciones de la época de secas.

### ***HCHs***

La concentración total de los isómeros  $\beta$ -HCH y  $\gamma$ -HCH (lindano), considerando todas las muestras de sedimento para la época de secas, fue de 12.3 y 2.03 ng/g, respectivamente, mientras que el isómero  $\delta$ -HCH presentó la mayor concentración total con 51.62 ng/g (Tabla 10). En cambio, para la época de lluvias las concentraciones fueron para  $\alpha$ -HCH 1.22 ng/g,  $\beta$ -HCH 1.78 ng/g, lindano 9.30 ng/g y  $\delta$ -HCH 6.08 ng/g, donde se observa que la mayor concentración para este muestreo correspondió al lindano (Tabla 10).

El lindano es el isómero más importante debido a su toxicidad, siendo su uso prohibido por la CICOPLAFEST desde 1998. La presencia del lindano puede indicar que aún se sigue aplicando en los campos agrícolas desde su prohibición ya que su persistencia es de sólo 2 años (McEwen y Stephenson, 1979).

### ***Aldrín y dieldrín***

Durante la época de secas el aldrín presentó una concentración total en sedimento de 23.27 ng/g y el dieldrín 4.17 ng/g (Tabla 10). El aldrín, para la época de lluvias, sólo se presentó en la estación 8 con 9.42 ng/g representando el valor más alto de los plaguicidas detectados en esta época, y el dieldrín no se detectó (Tabla 10).

El aldrín y dieldrín tienen una persistencia de 5 y 7 años, respectivamente, y para ambos está prohibido su uso en México desde los noventa (CICOPLAFEST, 2004), por lo que la presencia

de estos plaguicidas en las muestras indica que aún se siguen aplicando o su degradación ha sido muy lenta desde sus últimas aplicaciones.

#### ***Endrín y endrín aldehído***

Para la época de secas el endrín registró una concentración total de 16.64 ng/g y su producto de degradación, el endrín aldehído, presentó 15.49 ng/g (Tabla 10). El cociente de endrín/endrín aldehído fue de 1.07, lo cual puede indicar que actualmente, a pesar de estar prohibido su uso en México desde los noventa, se sigue utilizando o se degrada lentamente debido a que su persistencia es de 10 años. En la época de lluvias el endrín sólo se registró en la estación 5 con 0.71 ng/g y no se detectó su metabolito el endrín aldehído (Tabla 10).

#### ***Heptacloro y epóxido de heptacloro***

Para la época de secas el heptacloro presentó una concentración total en sedimento de 15.50 ng/g y su producto de degradación, el epóxido de heptacloro, registró una concentración de 845.66 ng/g (Tabla 10) que representó el 80 % de la concentración total de plaguicidas detectados en esta época. El valor del cociente heptacloro/epóxido de heptacloro fue de 0.018, lo cual indica que no se usa actualmente el heptacloro pero se utilizó en grandes cantidades y se ha degradado. Por otro lado, el heptacloro presentó una concentración total durante la época de lluvias de 2.15 ng/g, solo se registró en las estaciones 7 y 8, su metabolito epóxido de heptacloro no se detectó para esta época (Tabla 10).

El uso del heptacloro está prohibido desde los noventa y su tiempo de persistencia es de 4 años, por lo que las altas concentraciones del epóxido de heptacloro indican que se está degradando. El epóxido es más tóxico y persistente que el propio heptacloro y tiende a bioacumularse (McEwen y Stephenson, 1979), sí se considera que fue el plaguicida OC con las mayores concentraciones registradas en este estudio, esto podría significar que la presencia del epóxido de heptacloro representa un riesgo en este sistema lagunar.

#### ***Endosulfán y endosulfán sulfato***

El endosulfán I y II, en conjunto, presentaron una concentración total en sedimento de 15.09 ng/g y su metabolito el endosulfán sulfato registró una concentración de 18.41 ng/g (Tabla 10) en época de secas, el cociente endosulfán I + II/sulfato de endosulfán fue de 0.82, lo cual quizás indica que el endosulfán, que es permitido y utilizado actualmente en México, es degradado

rápidamente en el ambiente. En el muestreo de secas no se detectaron el endosulfán I y II, tampoco su metabolito el endosulfán sulfato.

### ***DDTs***

La concentración total del *p,p'*-DDT en el muestreo de secas para sedimento fue de 12.16 ng/g, mientras que la concentración de sus metabolitos *p,p'*-DDD y *p,p'*-DDE, en conjunto, fue de 13.04 ng/g (Tabla 10). Considerando el cociente DDT/DDD+DDE el valor obtenido es de 0.93, éste indica que el DDT no se sigue aplicando en la actualidad y que se está degradando en el ambiente. Pero la presencia en agua y su concentración en los sedimentos superficiales siguen indicando que posiblemente se siga utilizando. El DDT no se registró en el muestreo de lluvias y sólo se detectó su metabolito DDD con una concentración de 0.63 ng/g (Tabla 10).

### ***Comparación temporal***

El número de plaguicidas y las concentraciones detectadas en la época de lluvias fueron menores que en la época de secas (Tabla 8 y 9), esto podría explicarse debido a que las altas cantidades de agua diluyen y transportan los plaguicidas almacenados durante la época de secas y favorecen su dispersión, aunado a esto, una mayor velocidad de corriente evita que los plaguicidas transportados por el material suspendido sedimenten.

Estos resultados aparentemente indican que en la época de secas el sistema lagunar de Agua Brava presenta una acumulación de plaguicidas OCs en los sedimentos, al contrario, las lluvias sirven como una forma de “limpieza” temporal de los plaguicidas y evitan que éstos se acumulen durante varias temporadas en este sistema costero.

### **Relación entre los OCs presentes en agua y sedimento**

Existe una escasa relación entre los plaguicidas OCs registrados en agua y los registrados en sedimentos, durante secas, esto debido a que no todos los OCs detectados en el agua corresponden a los detectados en el sedimento (Tabla 6 y Fig. 10), y además se observó un mayor número de plaguicidas en las muestras de sedimento que en las muestras de agua. Esto puede deberse a que el agua es una matriz mucho más dinámica y variable que el sedimento, además la poca solubilidad de estos compuestos en agua y la gran interacción de éstos con los componentes del sedimento podrían explicar esta diferencia.

Tabla 8. Concentración de plaguicidas OCs (ng/g) detectados en sedimento durante la época de secas (marzo 2006) LD= 0.01 ng/g.

<b>Laguna de Agua Brava, Nayarit</b>											
<b>Época de Secas</b>											
<b>Muestras de Sedimento</b>											
<b>Concentración Plaguicidas OCs (ng/g)</b>											
<b>Estación</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Plaguicida</b>											
$\beta$ -HCH	-	0.80	1.93	-	1.41	3.09	1.76	-	0.76	2.10	0.43
$\gamma$ -HCH (lindano)	-	-	-	-	-	0.44	-	-	1.59	-	-
$\delta$ -HCH	-	1.57	2.30	1.40	8.69	12.21	3.05	1.54	17.51	1.08	2.25
Heptacloro	-	1.97	1.04	0.54	2.28	2.38	1.14	1.49	1.90	1.18	1.56
Aldrín	0.31	2.99	0.44	-	1.99	3.95	0.85	1.79	9.67	0.40	0.84
Epóxido de Heptacloro	-	2.37	16.50	36.54	<b>132.10</b>	<b>228.48</b>	47.59	53.61	<b>280.43</b>	45.20	2.85
Endosulfán I	-	1.91	-	-	-	-	0.45	-	-	-	1.14
<i>p, p'</i> -DDE	-	1.16	1.08	-	1.59	1.43	1.22	-	-	-	1.07
Dieldrín	-	-	0.63	-	-	-	2.21	1.33	-	-	-
Endrín	0.87	1.26	1.03	-	1.65	1.12	1.70	4.17	1.41	1.74	1.67
Endosulfán II	-	0.91	2.11	-	0.84	-	2.01	3.26	0.32	-	2.13
<i>p, p'</i> -DDD	1.62	1.36	1.51	-	-	-	-	-	-	-	0.98
Endrín aldehído	-	-	1.45	-	0.79	-	4.32	3.08	5.82	-	-
Endosulfán Sulfato	-	-	4.32	-	-	-	-	-	14.08	-	-
<i>p, p'</i> -DDT	1.19	1.93	5.89	-	1.09	-	-	-	-	-	2.04
<b>Concentración total de OCs</b>	4.00	18.25	40.26	38.49	152.45	253.11	66.30	70.29	333.53	51.70	16.96

Tabla 9. Concentración de plaguicidas OCs (ng/g) detectados en sedimento durante la época de lluvias (julio 2006) LD= 0.01 ng/g.

<b>Laguna de Agua Brava, Nayarit Época de Lluvias Muestras de Sedimento</b>										
<b>Concentración Plaguicidas OCs (ng/g)</b>										
<b>Estación</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Plaguicida</b>										
$\alpha$ -HCH	0.32	-	0.24	-	-	0.65	-	-	-	-
$\beta$ -HCH	-	-	-	-	-	1.77	-	-	-	-
$\gamma$ -HCH (lindano)	0.45	-	-	0.67	-	0.51	<b>6.83</b>	0.44	0.39	-
$\delta$ -HCH	0.77	-	0.81	0.60	0.68	0.86	-	0.68	0.98	0.70
Heptacloro	-	-	-	-	-	0.47	1.68	-	-	-
Aldrín	-	-	-	-	-	-	<b>9.42</b>	-	-	-
Epóxido de Heptacloro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endosulfán I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>p, p'</i> -DDE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dieldrín	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endrín	-	-	-	0.71	-	-	-	-	-	-
Endosulfán II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>p, p'</i> -DDD	0.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endrín aldehído	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endosulfán Sulfato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>p, p'</i> -DDT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Concentración total de OCs</b>	<b>2.17</b>	<b>0.00</b>	<b>1.05</b>	<b>1.98</b>	<b>0.68</b>	<b>2.50</b>	<b>19.72</b>	<b>1.12</b>	<b>1.38</b>	<b>0.70</b>

Tabla 10. Concentración total de OCs, obtenida de la suma de las concentraciones de cada plaguicida presente en las estaciones de muestreo, para la época de secas y lluvias

<b>Concentración total de OCs por tipo en lo muestreo de secas y lluvias</b>				
<b>Plaguicida</b>	<b>Época de Secas</b>		<b>Época de Lluvias</b>	
	<b>Concentración Total (ng/L) en Agua</b>	<b>Concentración Total (ng/g) en Sedimento</b>	<b>Concentración Total (ng/L) en Agua</b>	<b>Concentración Total (ng/g) en Sedimento</b>
$\alpha$ -HCH	0.01	-	-	1.22
$\beta$ -HCH	0.061	12.29	-	1.77
$\gamma$ -HCH (lindano)	0.03	2.03	-	9.30
$\delta$ -HCH	0.11	51.62	-	6.08
Heptacloro	0.186	15.50	-	2.15
Aldrín	0.01	23.27	-	9.42
Epóxido de Heptacloro	0.034	845.66	-	-
Endosulfán I	0.01	3.51	-	-
<i>p, p'</i> -DDE	-	7.56	-	-
Dieldrín	-	4.17	-	-
Endrín	0.01	16.64	-	0.71
Endosulfán II	0.031	11.59	-	-
<i>p, p'</i> -DDD	0.031	5.48	-	0.64
Endrín aldehído	0.03	15.49	-	-
Endosulfán Sulfato	0.053	18.41	-	-
<i>p, p'</i> -DDT	0.028	12.16	-	-

El coeficiente de correlación encontrada entre la concentración de OCs presentes en agua y sedimento, para época de secas, fue de  $r=-0.33$  ( $p>0.05$ ), el cual no fue significativa, esto indica que en el presente estudio la presencia de OCs en sedimento no necesariamente se manifiesta en la concentración de OCs en agua. Esto debido a que quizás la dinámica y procesos que gobiernan a cada matriz impiden que se observe un reflejo de las concentraciones de los plaguicidas presentes en cada una de ellas. Por otro lado, la correlación entre la concentración de OCs en estas dos matrices no se ha realizado en otros trabajos.

### **Correlación entre parámetros físicos y OCs**

Para determinar si la salinidad, temperatura superficial del agua y pH tuvieron alguna relación con las concentraciones de OCs detectadas en agua y sedimento, se realizó un análisis de correlación con estos parámetros. En este análisis se obtuvo que durante la época de secas y lluvias las concentraciones de OCs en sedimento no presentaron ninguna correlación significativa



( $p > 0.05$ ) con cada una de estas tres variables. Este también fue el caso para la concentración de OCs en agua en la época de secas, donde tampoco se observó una relación entre estas variables.

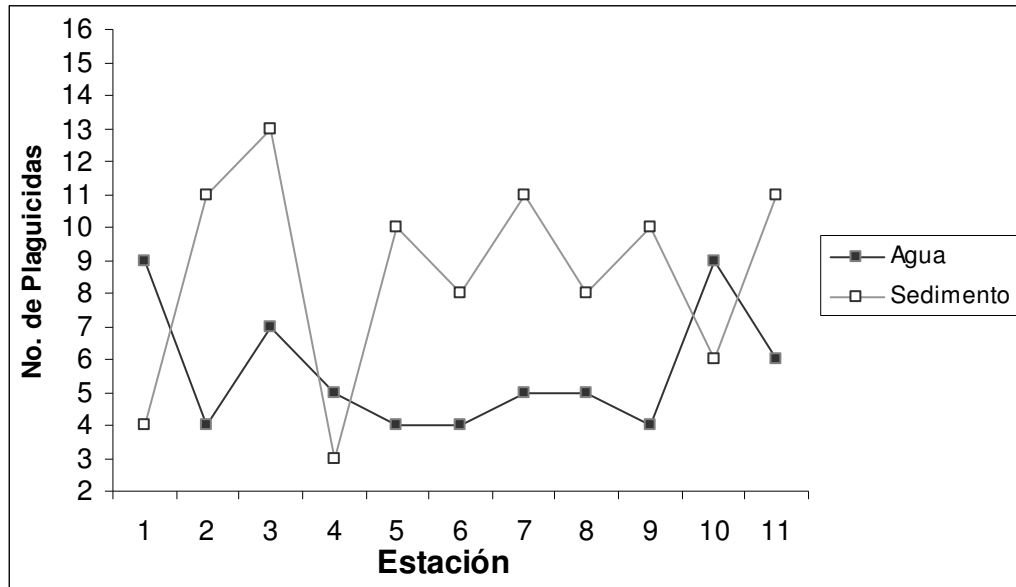


Figura 10. Plaguicidas OCs detectados en agua y sedimento por estación durante la época de secas (marzo 2006).

Existe investigación donde se observa que la presencia, degradación, solubilidad y transporte de ciertos plaguicidas OCs esta influida por factores como la salinidad, temperatura y pH (Jover *et al.*, 2007; Lenardón *et al.*, 2001; Lydy *et al.*, 1990). Pero en este sistema lagunar los parámetros fisicoquímicos no parecen explicar y determinar la distribución y comportamiento con las concentraciones de plaguicidas OCs en los muestreos. Por lo que quizá otros factores, como se discutirá más adelante, gobiernen la disponibilidad y conducta de estos compuestos en este sistema.

### **Correlación entre materia orgánica y concentración de plaguicidas OCs**

Las sustancias húmicas (SHs) son macromoléculas polares de alta complejidad estructural que pueden ser reconocidas como el mayor componente de la materia orgánica y el mayor reservorio de carbón orgánico en suelo, sedimento, aguas naturales de varios ecosistemas terrestres y acuáticos (El-Sayed *et al.*, 1996; Ishiwatari, 1992; Janôš, 2003; Pacheco *et al.*, 2003; Rav-Acha y Rebhun, 1992; Thurman y Malcolm, 1981). La interacción entre los plaguicidas y las SHs ha sido muy estudiada y se menciona que éstas participan activamente en la adsorción-desorción y

degradación de estos contaminantes (Perumal y Subramanian, 1989; Rav-Acha y Rebhun, 1992; Pacheco *et al.*, 2003; Klavins *et al.*, 2006).

Debido a lo anterior, en este estudio se realizó una correlación entre la concentración de plaguicidas OCs y el porcentaje de materia orgánica (MO) en sedimento para la época de secas y de lluvias. En los resultados obtenidos se observa que no existe una correlación significativa durante la época de secas ( $r=0.19$ ;  $p>0.05$ ) y de lluvias ( $r=0.52$ ;  $p>0.05$ ) en las estaciones de muestreo (Fig. 11 y 12). Por lo tanto, la relación entre OCs y materia orgánica no se observa claramente y en general se puede mencionar que en el presente estudio la cantidad de MO no parece ser un factor completamente determinante en la concentración de OCs en el sedimento. Este comportamiento puede deberse a que en la fase sedimentaria existen partículas refractarias que no interaccionan con otras partículas, lo cual explicaría por que en algunas estaciones el contenido de OCs y MO se correlaciona y en otras no. Otra explicación podría ser debido a que las SHs contenidas en los sedimentos secuestran y evitan disposición y detección de plaguicidas OCs, ya que González-Farías *et al.* (1998) realizaron un experimento donde observaron la interacción de sustancias húmicas con un plaguicida marcado con  $C^{14}$ , y determinaron que una gran cantidad del plaguicida formaba compuestos complejos con las sustancias húmicas que precipitaban y disminuían la cantidad de plaguicida en el medio.

La correlación significativa entre MO y OCs ha sido documentada en otros trabajos como el realizado en sedimentos de la costa sur de Campeche, donde se registró que la correlación entre  $\Sigma$ -DDT y materia orgánica tuvo un valor de  $r=0.525$  ( $p<0.05$ ), concluyendo que a mayor concentración de MO existe mayor cantidad de DDT (Rendón von Osten *et al.*, 2005). En el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón en Sinaloa, se registró una correlación de  $r=0.8$  entre la cantidad de materia orgánica y OCs en sedimento (González-Farías, *et al.*, 2006). También en el Río Palizada, que desemboca en la laguna de Términos en Campeche, se obtuvo en los sedimentos un alta correlación de  $r=0.97$  ( $p \leq 0.000$ ) (Gold-Bouchot *et al.*, 1993). En cambio, en la laguna de Mar Chiquita en Argentina la correlación entre MO y plaguicidas OCs no fue significativa ( $p>0.05$ ) (Manone *et al.*, 2001). Pero esta correlación en cada sistema costero puede diferir por factores como el tipo de materia orgánica, variación en el muestreo de sedimentos y/o características fisicoquímicas de cada plaguicida (Lee *et al.*, 2001).

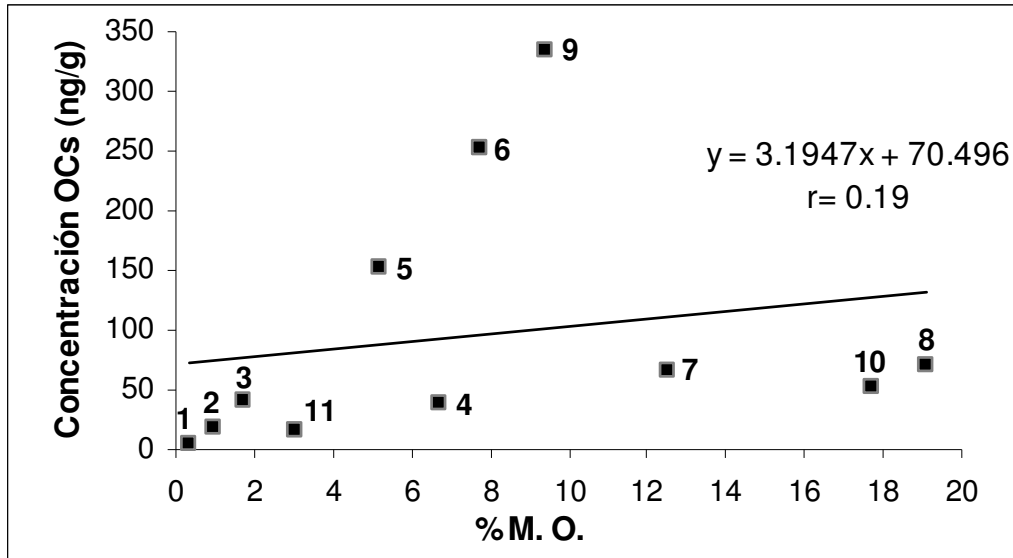


Figura 11. Correlación entre la concentración total de OCs y materia orgánica en sedimentos durante la época de secas en las estaciones de muestreo.

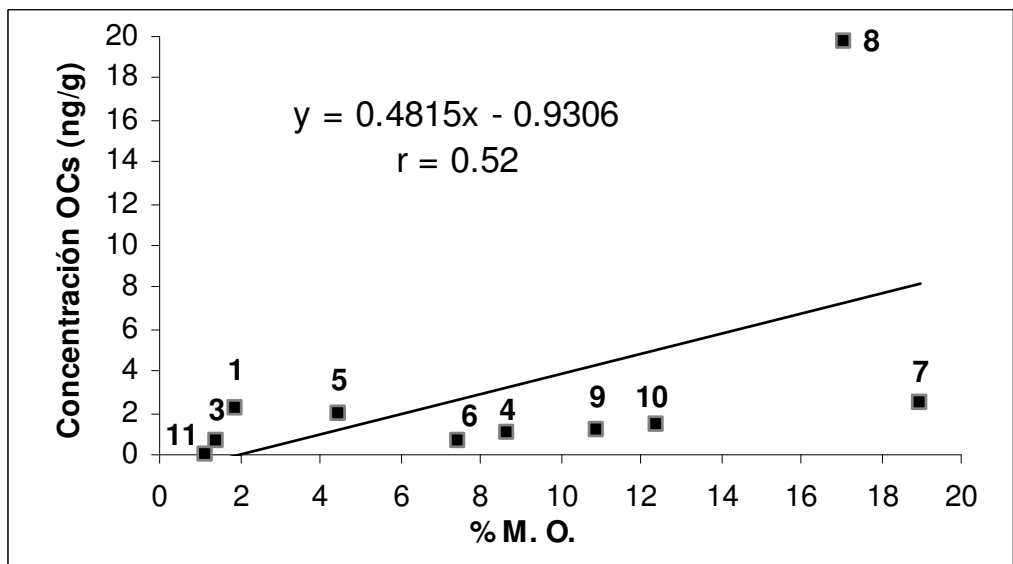


Figura 12. Correlación entre la concentración total de OCs y materia orgánica en sedimentos durante la época de lluvias en las estaciones de muestreo.

### Correlación entre partículas sedimentarias y concentración de plaguicidas OCs

Al correlacionar el tamaño de partícula sedimentaria con la concentración total de plaguicidas OCs en cada estación, durante la época de secas, se obtuvieron los siguientes coeficientes de correlación (r): -0.25 con arenas, 0.44 con limos, 0.39 con arcillas y 0.44 para limos+arcillas (Fig. 13). Aunque ninguna correlación es significativa ( $p > 0.05$ ), se observa que existe una mayor relación de los plaguicidas con las partículas sedimentarias finas que con las partículas gruesas.

En la época de lluvias los coeficientes de correlación ( $r$ ) fueron: -0.12 con arenas, 0.31 con limos, -0.12 con arcillas y 0.16 con limos+arcillas (Fig. 14), observándose de manera similar una ligera tendencia de relación entre los plaguicidas y las partículas finas. De acuerdo a lo anterior, el tamaño de partícula no parece explicar el patrón de distribución de las concentraciones de OCs en los sedimentos localizados en las estaciones de muestreo de este sistema lagunar. En cambio, otros sistemas costeros se ha observado que las concentraciones de OCs están determinadas por la composición textural del sedimento y particularmente por la cantidad presente de limos y arcillas (Boon *et al.*, 1985; Duinker *et al.*, 1983; Sericano y Pucci, 1984).

La falta de interacción entre OCs y partículas finas, al igual que con MO, puede deberse a que ciertos componentes del sedimento, dígame plaguicidas, limos y arcillas, no interaccionan, esto debido a que dentro de estos componentes su composición y estructura química puede ser diferente, es decir, existen infinidad de tipos de sustancias húmicas, arcillas y limos entre los cuales posiblemente algunos sean refractarios. Por lo que no en todos los casos la correlación entre la cantidad de partículas finas, MO y plaguicidas se presentara.

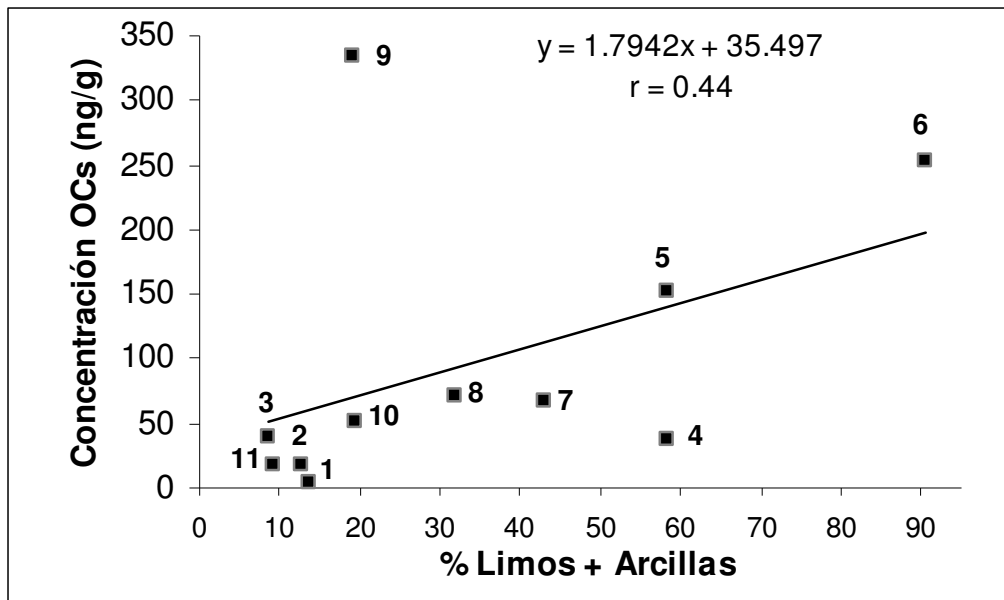


Figura 13. Correlación entre la concentración total de OCs en sedimentos y partículas sedimentarias durante la época de secas en las estaciones de muestreo.

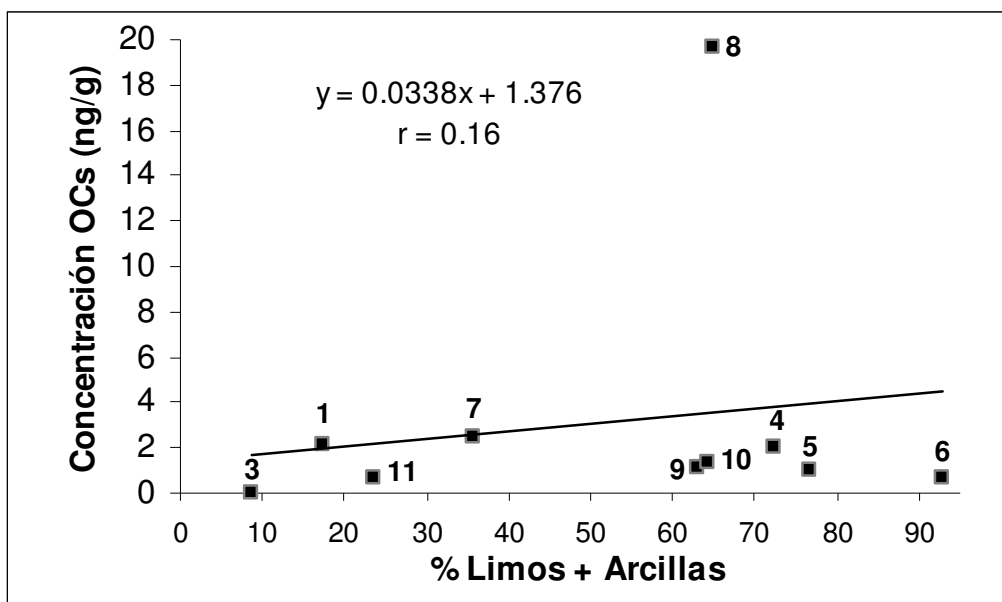


Figura 14. Correlación entre la concentración total de OCs en sedimentos y partículas sedimentarias durante la época de lluvias en las estaciones de muestreo.

### Variación temporal de la concentración de OCs

En el presente estudio se obtuvo que en la época de secas las concentraciones de plaguicidas OCs fueron mayores que en la época de lluvias. Este comportamiento temporal fue similar al del sistema lagunar Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereira en Chiapas, México, donde se obtuvo que los mayores niveles de plaguicidas OCs se detectaron durante la época de secas debido a que la alta tasa de evaporación concentró estos agrocompuestos (Botello *et al.*, 2000). Pero este no fue el caso en un estudio realizado en Guerreño en la Bahía Petacalco, México, donde se observó que las concentraciones de los plaguicidas OCs persistentes aumentan considerablemente durante la época de lluvias debido a la influencia de las lluvias y el aporte de los ríos que transportan los plaguicidas hacia este sistema costero (Leyva-Cardoso *et al.*, 2003). En los estudios realizados en una parte del sistema lagunar Agua Brava, en el Estero de Cuautla y en Laguna Grande (Castillo 2000 y 2005), no se observa un patrón temporal de variación en la concentración de plaguicidas. La diferencia en estos comportamientos dependerá de las características, factores y sucesos que rigen cada sistema costero.

La variación temporal de la concentración de OCs en el sistema de Agua Brava está influida principalmente por la presencia o ausencia de lluvia. Esto debido a que se observó que durante la época de secas existió una acumulación y concentración de plaguicidas OCs en los sedimentos,

debido quizás por la evaporación (Botello *et al.*, 2000), y además solo en esta época se detectaron OCs en el agua posiblemente por su menor dilución. En cambio, en la época de lluvias los OCs son lavados y acarreados fuera del sistema evitando la concentración en el sedimento y la presencia en el agua. En este sistema los parámetros fisicoquímicos (salinidad, temperatura y pH) no parecen ser factores determinantes en la concentración y distribución de los OCs, de igual manera, las características del sedimento (MO y tamaño de partícula) no representaron un papel importante en la cantidad de OCs dentro de este sistema lagunar.

La temporada de aplicación de plaguicidas puede ser otro factor determinante en esta variación temporal dentro del sistema lagunar Agua Brava en Nayarit. Esto debido a que durante la época de secas las plagas que proliferan en los cultivos son los insectos, por lo cual se usan insecticidas que en su mayoría son organofosforados y algunos OCs (clordano y endosulfán) (Boletín para el Control del Tabaco, 2004; Cisneros-Estrada y González-Farías, 2007). Por consiguiente, la utilización de OCs, ya sean permitidos o prohibidos, sería durante esta época, lo cual explicaría las grandes cantidades en sedimento y su presencia en agua durante el muestreo de secas. Por otro lado, durante la época de lluvias lo que se presentan son hongos, por lo que se utilizan principalmente fungicidas carbámicos (Boletín para el Control del Tabaco, 2004), por lo que la utilización de OCs puede que sea menor o nula, y las concentraciones en agua y sedimento serían menores durante esta época de lluvias.

## **Distribución de los plaguicidas OCs**

### ***Distribución en agua***

En la distribución espacial de los plaguicidas OCs en agua, al considerar las concentraciones totales por estación, se observa que las mayores concentraciones de estos compuestos se presentaron en las estaciones 1 y 11, ubicadas dentro de los ríos Acaponeta y Bejuco, indicando que estas zonas son las fuentes de origen de los plaguicidas provenientes de los cultivos aledaños a estas estaciones (Fig. 15). Por otro lado, la estación 10, que presentó también una mayor concentración de OCs en agua, indica que es una ruta de entrada de estos compuestos hacia el sistema lagunar transportados por el río Rosa Morada y en menor proporción por el río Bejuco. Esta distribución muestra que las principales rutas de entrada y transporte de OCs se localizan en la parte norte y sur de este sistema lagunar.

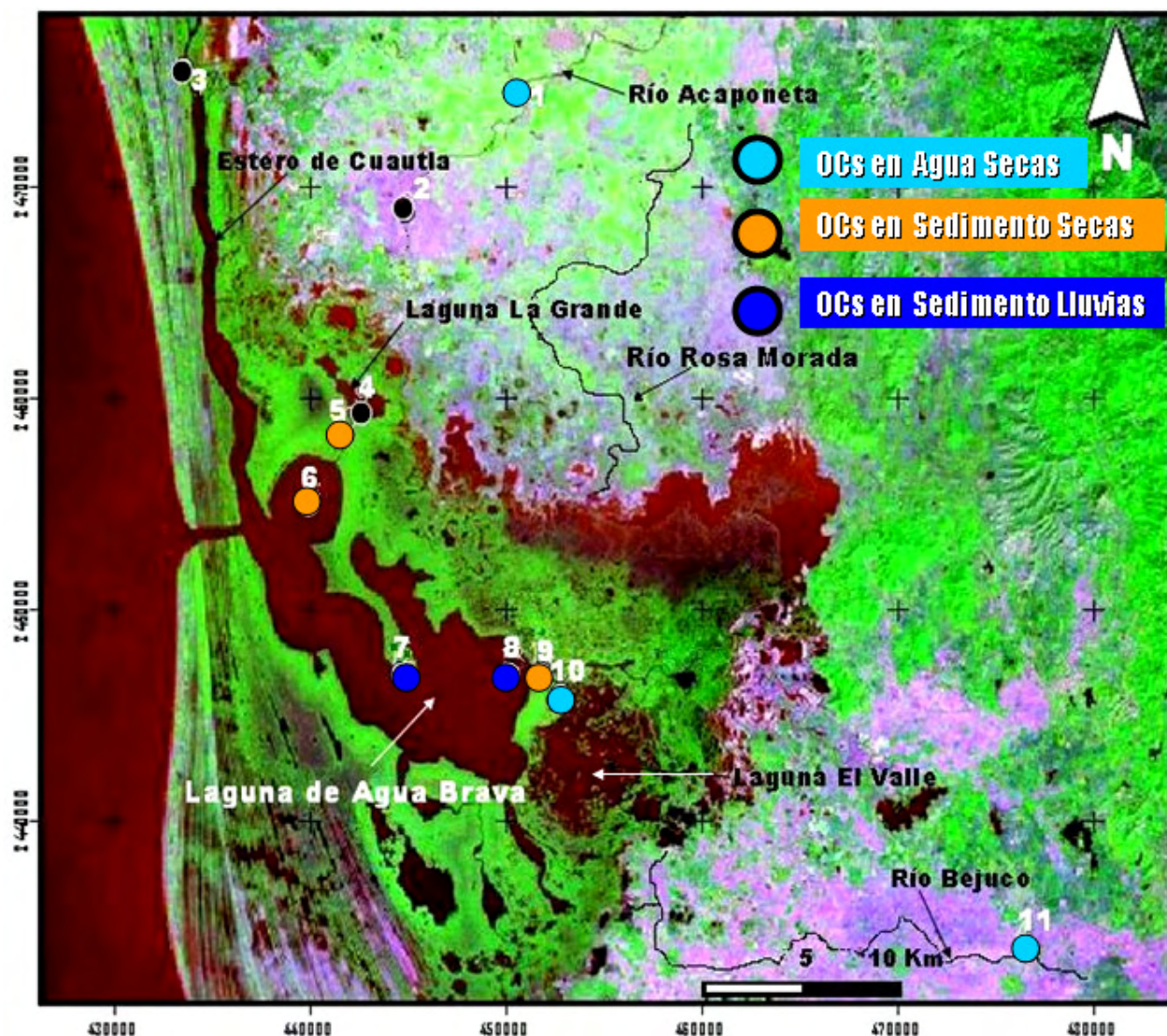


Figura. 15. Distribución de las estaciones con mayores concentraciones de OCs en el área de estudio.

### *Distribución en sedimento*

En la distribución de OCs en sedimento, en época de secas, se observó que las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones 5, 6 y 9 (Fig. 11), esto indica que son zonas de acumulación de estos compuestos durante esta época del año. La zona de mayor acumulación de OCs dentro de la laguna se localizó en la parte sur. Esto se obtuvo al realizar la sumatoria de las concentraciones de las estaciones del lado norte (4, 5 y 6) y las estaciones del lado sur (8, 9 y 10). Por lo que la zona sur durante la época de secas funciona como un sumidero de plaguicidas OCs dentro de la laguna de Agua Brava.

En cambio, en la distribución de OCs en sedimento durante la época de lluvias se observó que las mayores concentraciones se distribuyeron en las estaciones 7 y 8 (Fig. 11), lo cual puede indicar que por efecto de las lluvias existe un mayor transporte de sedimento y las zonas de acumulación se encuentran más hacia el interior de la laguna. En esta época la zona que presentó mayor concentración de OCs se localizó en la parte sur, reiterando que esta región es un asentamiento de plaguicidas durante la época de secas y lluvias.

En el presente estudio la distribución espacio-temporal de OCs estuvo regulada por las características de cada zona de muestreo, es decir, ubicación (sitios de contacto o entrada la laguna), cercanía con las fuentes de origen de los plaguicidas, influencia de las lluvias y ríos, la fuerza de corriente que determina el transporte de estos compuestos y significativamente en menor grado el contenido de MO y limos-arcillas en los sedimentos.

#### **Niveles máximos registrados de OCs**

Los niveles máximos de cada plaguicida registrados en las muestras de agua fueron mucho menores que otros trabajos realizados en el noroeste de la República Mexicana (Tabla 11), esto puede indicar que el transporte acuático de plaguicidas desde su lugar de origen hacia el sistema lagunar es muy reducido en comparación con otros sistemas costeros. En general, en este trabajo los niveles máximos de OCs en sedimento fueron menores a los de otros trabajos realizados en el Noroeste de la República Mexicana, excepto para el endosulfán sulfato y el epóxido de heptacloro, 14.09 y 280.43 ng/g, respectivamente (Tabla 12).

El máximo registrado del endosulfán sulfato se debe a que el endosulfán, su predecesor, es un OC permitido y utilizado actualmente en la zona agrícola de Nayarit (Cisneros-Estrada y González-Farías, 2007). Por otra parte, la máxima concentración del metabolito epóxido de heptacloro destaca debido a que este metabolito es mucho más tóxico y persistente en el ambiente que su antecesor, y además representó el 80.9 % de la concentración total de plaguicidas OCs analizados en la época de secas. Las altas concentraciones de este compuesto indican que anteriormente en la zona agrícola cercana al sistema lagunar se utilizó heptacloro en grandes cantidades. De igual forma la utilización de clordano en cultivos de tabaco (Boletín para el Control del Tabaco, 2004)



podría explicar dichas concentraciones de epóxido de heptacloro, esto debido que el clordano contiene heptacloro que posteriormente se degrada a su epóxido.

Por otro lado, se observó que los valores máximos registrados en el presente estudio fueron menores y en algunos casos mayores en comparación con trabajos de otros países (Tabla 13), tal fue el caso del epóxido de heptacloro que presentó una menor concentración comparada con la de 1,320 ng/g registrada en la Laguna Mar Chiquita en Argentina (Menone *et al.*, 2001).

Tabla 11. Niveles máximos de plaguicidas OCs en algunos sistemas costeros del Noroeste de México en agua (ng/L)  
Referencia: a) Galindo-Reyes *et al.*, 1999, b) Osuna-Flores y Riva, 2002, c) de la Lanza, 1986a

<b>Niveles máximos registrados de OCs en agua (ng/L)</b>				
	<b>Sistemas Costeros del Noroeste de México</b>			
<b>Plaguicida</b>	<b>Bahía Ohuira, Sinaloa</b>	<b>Bahía Ohuira, Sinaloa</b>	<b>Laguna Mezcaltitán, Nayarit</b>	<b>Laguna de Agua Brava, Nayarit</b>
$\alpha$ -HCH	1.26	-	-	0.01
$\beta$ -HCH	-	-	-	0.013
$\gamma$ -HCH (lindano)	1.60	640	-	0.01
$\delta$ -HCH	-	270	-	0.013
Aldrín	-	-	-	0.01
Dieldrin	19.0	-	-	-
Endrin	-	-	-	0.01
Endrín aldehído	-	-	-	0.01
Heptacloro	-	150	-	0.025
Epóxido de heptacloro	0.23	230	-	0.014
Endosulfán I	73.20	1,280	-	0.01
Endosulfán II	-	-	-	0.02
Endosulfán sulfato	-	-	-	0.31
p, p'-DDE	2.03	70	-	-
p, p'-DDD	8.09	-	-	0.012
p, p'-DDT	1.57	3,750	4,815	0.018
<b>Referencia</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>Este Estudio</b>

Tabla 12. Niveles máximos de plaguicidas OCs en algunos sistemas costeros del Noroeste de México en sedimento (ng/g) Referencia: a) Rosales *et al.*, 1985, b) Galindo-Reyes *et al.*, 1999, c) Osuna-Flores y Riva, 2002, d) Carvalho *et al.*, 1996, e) Robledo-Marengo *et al.*, 2006 y f) Castillo, 2005

Niveles máximos registrados de OCs en sedimento (ng/g)						
Sistemas Costeros del noroeste de México						
Plaguicida	Laguna Yávaros, Sonora	Bahía Ohuira, Sinaloa	Laguna Altata Ensenada, Sin.	Estuario San Cristóbal, Nayarit	Estero Cuautla, Nayarit	Laguna de Agua Brava, Nayarit
$\alpha$ -HCH	-	5.03	-	39.98	5.94	0.65
$\beta$ -HCH	-	-	-	12.44	14.27	3.09
$\gamma$ -HCH (lindano)	10.45	30	0.24	18.93	4.81	6.83
$\delta$ -HCH	-	50	-	45.30	0.62	17.51
Aldrín	21	1.96	-	-	-	9.70
Dieldrin	27	51.04	0.04	6.22	35.80	2.21
Endrin	-	-	0.17	12.49	-	4.17
Endrín aldehído	-	1.05	-	7.13	2.98	5.83
Heptacloro	22	60; 90	-	-	0.45	2.38
Epóxido de heptacloro	58	40; 130	-	13.83	5.86	<b>280.43</b>
Endosulfán I	-	155; 790	1.2	19.71	4.90	1.92
Endosulfán II	-	-	0.08	16.33	24.36	3.27
Endosulfán sulfato	-	-	1.50	7.91	0.08	<b>14.09</b>
p, p'-DDE	-	2.03; 60	2.16	10.18	0.25	1.59
p, p'-DDD	-	-	0.33	15.18	1.41	1.62
p, p'-DDT	25	60	-	56.96	-	5.90
<b>Referencia</b>	<b>a</b>	<b>b y c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>f</b>	<b>Este Estudio</b>

Tabla 13. Niveles máximos de plaguicidas OCs en sedimento (ng/g) de algunos sistemas costeros de otros países  
Referencia: a) Carvalho *et al.*, 1999, b) Menone *et al.*, 2001, c) Pérez-Ruzafa *et al.*, 2000 y d) Liu *et al.*, 2003.

<b>Niveles máximos registrados de OCs en sedimento (ng/g)</b>					
<b>Plaguicida</b>	<b>Sistemas Costeros de otros países</b>				
	<b>Estero Padre Ramos, Nicaragua</b>	<b>Laguna Mar Chiquita, Argentina</b>	<b>Laguna Mar Menor, España</b>	<b>Estuario Yangtze, China</b>	<b>Laguna de Agua Brava, Nayarit</b>
$\alpha$ -HCH	0.013	-	-	0.10	<b>0.65</b>
$\beta$ -HCH	-	-	-	0.72	<b>3.09</b>
$\gamma$ -HCH (lindano)	0.07	111	-	30.40	6.83
$\delta$ -HCH	-	96	50.60	5.42	17.51
Aldrín	-	-	6.80	2.48	<b>9.70</b>
Diendrín	0.04	14	-	0.27	2.21
Endrín	0.016	17	-	-	4.17
Endrín aldehído		-	19.70	-	5.83
Heptacloro	0.012	2	-	0.93	<b>2.38</b>
Epóxido de heptacloro	-	1,320	-	0.25	280.43
Endosulfán I	0.018	3	420	1.23	1.92
Endosulfán II	0.082	11	410	0.16	3.27
Endosulfán sulfato	0.03	58	-		14.09
p, p'-DDE	3.8	136	247.20	0.35	1.59
p, p'-DDD	0.2	33	-	0.34	1.62
p, p'-DDT	0.11	121	-	0.21	5.90
<b>Referencia</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>Este Estudio</b>

La diferencia entre los valores máximos presentes en el sistema lagunar de Agua Brava y otras zonas de estudio puede deberse a diversos factores y sucesos que afectan estos sistemas, tales como son las condiciones ambientales, procesos dinámicos, procesos biogeoquímicos, densidad de zonas de cultivo, cantidad de plaguicidas aplicados, historial de aplicación y prohibición de los plaguicidas OCs.(Albert y Benítez, 1996; Barbash, 2005; Rendón von Osten *et al.*, 2005).

### **Situación ambiental del sistema lagunar Agua Brava**

Para determinar el significado ambiental y biológico de las concentraciones de OCs en agua y sedimentos detectados en este trabajo, se realizó una evaluación comparando estos valores con las normas mexicanas existentes y valores recomendados a nivel mundial.

En México no existe una norma oficial que determine los valores máximos permisibles de plaguicidas OCs para agua y sedimento en sistemas costeros. En cuanto a los OCs en agua, lo más cercano a una regulación son los valores permitidos de OCs para la descarga de aguas

residuales a cuerpos receptores de jurisdicción federal, estipulados en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (CNA, 2000), en la cual se proponen valores para la protección de la vida acuática en aguas costeras y estuarios (Tabla 14). Considerando esos valores las concentraciones de OCs obtenidas en agua en el presente estudio son menores y no representan riesgo para la vida acuática en este sistema lagunar. No obstante, estos valores propuestos por la Ley Federal no consideran que los organismos expuestos a estas concentraciones presentaran bioacumulación, biomagnificación y por consiguiente efectos adversos a largo plazo. Debido a esto, esta ley presenta debilidades y necesita establecer estatutos ambientales a otros niveles ya sea sedimento, estudios de ecotoxicidad y efectos en organismo para legislar y estipular normas ambientales más adecuadas.

Tabla 14. Niveles recomendados de OCs para la protección de la vida acuática en agua costeras y estuarios, de acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia del Agua (CNA, 2000).

<b>Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2000)</b>	
<b>Lineamientos de Calidad de Agua</b>	
Plaguicidas	ng/L
Lindano	200
Aldrín	7,400
Dieldrín	900
Endrín	40
Heptacloro	500
Endosulfán I	30
Endosulfán II	30
DDE	100
DDD	10
DDT	100

Por otro lado, en México no existe ningún documento oficial que mencione los niveles máximos recomendados de OCs en sedimentos, pero para establecer las condiciones ambientales en el sistema de Agua Brava se considero la Norma Ambiental Internacional FAO/WHO (1973), en donde se menciona que el límite máximo recomendado para este tipo de contaminantes en los sedimentos es de 20 ng/g (de la Lanza-Espino, 1991), por lo tanto las concentraciones en sedimento de OCs individuales, excepto el epóxido de heptacloro, no implicarían una contaminación, pero al considerar la sumatoria de OCs en cada estación durante la época de secas indicaría que este sistema costero esta significativamente contaminado. Sin embargo, durante la época de lluvias esta contaminación disminuye considerablemente, por lo cual las lluvias diluyen estos contaminantes y los transportan fuera de este sistema.

La Environmental Protection Agency (EPA, 1993) publicó los valores de máxima concentración en sedimentos, para el endrín y diendrín, que se consideran no causan efectos en organismos bentónicos marinos. En dicho documento se menciona que los organismos bentónicos marinos no son afectados si las concentraciones en sedimento de endrín no exceden los 760 ng/g y 20,000 ng/g para el diendrín. Los valores encontrados en el presente estudio no exceden estas concentraciones. Sin embargo, concentraciones menores no implica que éstas no afecten a los organismos, dado que largos períodos de exposición a estos sedimentos pueden provocar que los contaminantes se bioacumulen y biomagnifiquen en los organismos (Leyva-Cardoso *et al.*, 2003).

Tabla 15. Niveles de plaguicidas OCs en sedimento (ng/g) en los que se observan efectos adversos a los organismos marinos bentónicos (Buchman, 1999)

Plaguicida	Concentraciones de efectos adversos en sedimento (ng/g)				
	Nivel de efecto umbral (TEL)	Intervalo bajo de efecto (ERL)	Intervalo mediano de efecto (ERM)	Nivel de efecto probable (PEL)	Umbral de efecto aparente (AEL)
Lindano	0.32			0.99	>4.8
Aldrin					9.5
Diendrín	0.71	0.02	8	4.3	1.9
Heptacloro					0.3
DDE	2.07	2.2	27	374.17	<9
DDD	1.22	2	20	7.81	<16
DDT	1.19	1	7	4.77	<12

La NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) presenta una tabla de referencia para el monitoreo de compuestos orgánicos en sedimentos marinos (Tabla 15), donde se muestran las concentraciones con varias posibilidades de efectos adversos a los organismos marinos bentónicos (Buchman, 1999). Los valores de OCs en sedimento obtenidos en el presente estudio exceden, en algunas estaciones y principalmente en secas, un nivel o varios reportados en esta tabla. Tal es el caso de lindano que rebasa en algunas estaciones el nivel de efecto umbral (TEL) y el umbral de efecto aparente (AEL); el aldrín en algunas estaciones rebasa o está cerca del AEL; el diendrín excede el TEL y AE; el heptacloro excede en la mayoría de las estaciones el AEL; el DDD excede el TEL y el DDT en las estaciones detectado rebasa el ERL y umbral de efecto probable (PEL). Debido a todo lo anterior, es posible esperarse que ocurran efectos adversos frecuentes y toxicidad en especies sensibles dentro del sistema lagunar de Agua Brava, Nayarit.

## Plaguicidas y Salud Humana

Aunque no es objetivo de este estudio es importante resaltar el papel de los plaguicidas en la salud humana, que no solo tienen un papel importante en su aplicación en campañas sanitarias contra especies vector, sino también por los efectos nocivos debidos a la exposición humana a estos compuestos. La exposición crónica o aguda a los plaguicidas puede producir consecuencias adversas en la salud (Baker *et al.*, 1990), en el mundo cada año mueren 300,000 personas por envenenamiento con plaguicidas principalmente en países en vía de desarrollo (Eddlesto y Bateman, 2007). Además, los efectos crónicos degenerativos son aún peores, ya que existen estudios donde se ha observado que estos compuestos producen cáncer y desordenes reproductivos en los humanos (Beard, 2005).

En la Republica Mexicana se registran semanalmente intoxicaciones por plaguicidas, presentándose el mayor número de casos en los estados con mayor actividad agrícola, Jalisco, Sinaloa, Nayarit y Veracruz (Albert, 2005). Para obtener los números de personas intoxicadas anualmente, desde el 2002 a 2007, se realizó el conteo basados en las publicaciones semanales del Boletín de Epidemiología de la Secretaria de Salud (Tabla 16). En este conteo se observó que el estado de Jalisco fue el que presentó más casos, seguido de los estados de Sinaloa y Nayarit. Estas cifras indican que a pesar de la orientación sobre su uso, manejo, normas de seguridad en su aplicación y disposición de los envases vacíos de plaguicidas, el número de incidentes no disminuye, lo cual indica que las autoridades pertinentes no han promovido con éxito la difusión de esta información. Pero lamentablemente la mayoría de los efectos nocivos de los plaguicidas se observan en las personas de zonas rurales e indígenas que trabajan cada temporada sin capacitación, información y mucho menos equipo adecuado para aplicar estos agrocompuestos.

Tabla 16. Número de casos intoxicación de personas con plaguicidas en los estados de mayor incidencia en México. Datos obtenidos de los Boletines de Epidemiología de la Secretaria de Salud publicados semanalmente.

<b>Intoxicaciones por Plaguicidas en México</b>							
	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>Total</b>
<b>Jalisco</b>	597	658	800	855	838	1,030	4,778
<b>Sinaloa</b>	236	171	262	320	332	280	1,601
<b>Nayarit</b>	292	265	346	353	219	124	1,599
<b>Chiapas</b>	188	180	226	291	325	274	1,484
<b>Veracruz</b>	147	116	222	266	229	266	1,246
<b>Total</b>	1,460	1,390	1,856	2,085	1,943	1,974	<b>10,708</b>

En el presente estudio, las concentraciones de OCs en agua y sedimento pueden significar que estos compuestos se bioacumularán y biomagnificarán en los organismos expuestos a ellas, y dentro de estos organismos pueden existir especies que son consumidas a nivel regional, lo cual implicaría que la población que consume estas especies acumularán plaguicidas OCs dentro de sus tejidos. Lo cual a la larga podría repercutir en la salud de este sector poblacional.

### ***Huicholes y Plaguicidas***

“Cada año miles de indígenas de la etnia huichol se aprestan a dejar sus tierras ancestrales en estados del Occidente de México para sumarse como peones a las arduas labores del cultivo de tabaco, expuestos a una amenaza silenciosa y mortífera por el uso de agroquímicos” (Franco, 2000).

Los campos tabacaleros de la costa de Nayarit emplean cada temporada a unos 4,7 millones de jornaleros, durante el tiempo que permanecen en la planicie costera de Nayarit, los campesinos viven en las plantaciones de tabaco, cocinan sus alimentos al ras del piso y, con frecuencia, beben agua proveniente de canales de riego, arroyos y pozos, e incluso utilizan envases vacíos de plaguicidas (Cruz, 2005). Esto reitera que estas personas ignoran por completo los efectos negativos de los plaguicidas debido a la falta capacitación y de información por parte de las empresas que los emplean, asimismo, es evidente que el apoyo de las empresas tabacaleras trasnacionales y nacionales hacia lo jornaleros no existe. Aunado a esto la agrupación civil Huicholes y Plaguicidas denunciaron que algunas de las sustancias utilizadas en los campos nayaritas están prohibidas en otros países.

En el 2007 la Secretaría de Salud del estado de Nayarit emitió una alerta a propietarios de cultivos y jornaleros agrícolas, debido al aumento de casos de intoxicación con plaguicidas y al deceso de personas (Narváez, 2007). Nayarit ocupa el tercer lugar en casos de intoxicación, y en un estudio realizado en el estado, se demuestra que la exposición a plaguicidas puede provocar malformaciones congénitas (Medina-Carrillo *et al.*, 2002). Con estos antecedentes se debe de hacer un enérgico llamado a las autoridades en los tres niveles de gobierno, para que generen las acciones pertinentes que terminen con este problema que afecta a la población.

### **La realidad de los plaguicidas en México**

Los plaguicidas son compuestos útiles para la humanidad pues disminuyen pérdidas en las cosechas y eliminan especies vector en la transmisión de enfermedades, a pesar de estos beneficios, los efectos en el humano, el ambiente y en los organismos ponen en evidencia la problemática de utilizar constantemente estos compuestos.

Los plaguicidas son de los contaminantes xenobióticos que a diferencia de otros, como los PCBs y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), son vertidos al ambiente de manera conciente y directa. Debido a esto, se deben buscar alternativas para utilizar otros métodos para el control de plagas inclinados a disminuir impactos en el ambiente y en el ser humano.

En México la prohibición del uso de los plaguicidas OCs por la CICOPALFEST es un paso alentador hacia la disminución del efecto de estos compuestos, pero a pesar de que existe este organismo que se encarga de regular su uso, en realidad no existe una vigilancia constante ni un monitoreo que garantice que se esta cumpliendo actualmente esta disposición gubernamental. Por otra parte, también es alentador que México sea uno de los países que se comprometió a cumplir con el Convenio de Estocolmo, que entró en vigor en mayo del 2004, pero aún quedan muchos pasos que completar para poder llegar a cumplir la meta de regular, prohibir, reducir el impacto en la salud humana y el ambiente de estos agrocumpuestos.

Expuesto lo anterior, el estudiar las condiciones actuales de los sistemas costeros en México, es una pieza inicial para establecer las normas necesarias para cumplir estos compromisos y disposiciones ambientales, por que actualmente en México no existe una norma que establezca los niveles máximos permisibles de OCs en agua y sedimento de sistemas costeros. Por lo cual, la interacción y colaboración de investigadores, organismos gubernamentales y la sociedad será la única forma de solucionar este problema de contaminación ambiental que concierne a todos.

A continuación se presentan algunas propuestas que podrían servir para dar soluciones al problema de la contaminación ambiental y efectos en la salud de los plaguicidas en el país:



- Disminuir por medio de campañas informativas la indiferencia e ignorancia de la sociedad sobre el problema real de la contaminación por plaguicidas en el ambiente y los efectos en la salud humana.
- Capacitar y actualizar a agricultores y jornaleros sobre el uso de estos compuestos.
- Informar al gobierno la importancia de realizar investigación sobre los efectos de los plaguicidas en el ambiente y en la salud humana, y exigir mas recursos para monitoreo y remediación de sitios contaminados.
- Impulsar la formación de estudiantes, docentes, investigadores, especialistas y técnicos para desarrollar tecnologías que solucionen la problemática del uso de plaguicidas.
- Verificar el cumplimiento de las leyes y disposiciones ambientales propuestas para prevenir y minimizar los riesgos asociados el uso indiscriminado de plaguicidas, esto a través de monitoreos prácticos y viables por parte de las dependencias estatales.
- Mayor vinculación entre investigadores de diferentes áreas de conocimiento para tener un panorama amplio sobre el problema de los plaguicidas y obtener soluciones adecuadas.
- Realizar estudios de seguimiento, monitoreo ambiental, evaluación de riesgos ecológicos y riesgos en la salud humana respecto a plaguicidas

## CONCLUSIONES

- Los parámetros fisicoquímicos del sistema lagunar de Agua Brava, se comportaron de manera similar a otros sistemas costeros. La salinidad aumentó durante la época de secas y disminuyó durante las lluvias por la influencia de éstas y de los ríos. La temperatura superficial del agua correspondió a la temperatura ambiente, mayor durante la época de lluvias y menor durante secas. El pH en general se mantuvo constante durante ambas épocas demostrando la capacidad buffer del agua dulce, salobre y marina. Estos parámetros no explicaron el comportamiento de las concentraciones de plaguicidas OCs.
- La cantidad de materia orgánica y el tipo de partículas sedimentarias indican que la laguna de Agua Brava funciona como una zona de depositación tanto en la época de secas como en la de lluvias.
- La cantidad materia orgánica y partículas sedimentarias finas no se correlacionaron con la concentración de plaguicidas OCs en sedimentos. Por lo que en este estudio estos dos factores no explican la distribución de plaguicidas OCs en sedimento. Esto puede deberse a que en la fase sedimentaria existen componentes refractarios que evitan esta relación.
- La presencia de plaguicidas OCs prohibidos en este sistema indica recientes aplicaciones o una degradación muy lenta desde su aplicación en años anteriores.
- En este sistema lagunar la época de secas y lluvias determinan la presencia y concentración de plaguicidas OCs, observándose que las mayores concentraciones se presentaron en la época de secas y las menores en lluvias.
- La distribución de las concentraciones de OCs en agua muestran que las principales rutas de entrada y transporte de OCs se localizan en la parte norte y sur de este sistema lagunar, esto se atribuye a la influencia de los ríos permanentes, Acaponeta y Rosa Morada, que

transportan los plaguicidas de las zonas de cultivo. Mientras que la acumulación de OCs en sedimento se localizó en el zona sur del sistema lagunar.

- Las altas concentraciones de epóxido de heptacloro registradas en el presente estudio, que representaron el 80% de la concentración total de OCs registrados, pueden indicar que se aplicaron grandes cantidades de heptacloro en años anteriores o que aún se utiliza en la agricultura local.
- Las concentraciones de OCs en agua son mucho menores a otros trabajos registrados, y además están por debajo de las concentraciones máximas recomendadas para la protección de la vida acuática, de acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (CNA, 2000). No obstante, la acumulación de estas bajas concentraciones en los organismos podrían representar efectos a largo plazo.
- De acuerdo con la Norma Ambiental Internacional FAO/WHO (1973) el límite máximo recomendado para este tipo de contaminantes en los sedimentos es de (20 ng/g) (de la Lanza-Espino, 1991). Por lo tanto, las concentraciones de OCs en sedimento durante la época de secas indican que este sistema costero está contaminado. Pero esta contaminación disminuye considerablemente durante la época de lluvias, debido a que estos contaminantes se lavan, diluyen y transportan fuera de este sistema lagunar.
- Los niveles de algunos OCs en sedimento detectados en este trabajo, de acuerdo a los valores especificados por la NOAA (Buchman, 1999), presentan concentraciones que pueden generar efectos adversos y toxicidad en especies bentónicas del sistema lagunar de Agua Brava, Nayarit.

## LITERATURA CITADA

- Albert, L., 2005. Panorama de los plaguicidas en México. *Rev. Toxicol.* en línea (Retel). <http://www.sertox.com.ar/retel/n08/01.pdf>. [Consulta: 10 de marzo del 2008].
- Albert, L. A. y J. A. Benítez, 1996. Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros. *En: A. V. Botello, J. L. Rojas Galaviz, J. A. Benítez y D. Zárate Lomelí (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX Serie Científica 5.* Universidad Autónoma de Campeche. México: 107-123.
- Albert, L. A. y R. L. Gallardo, 2005. Química y ecotoxicología de los insecticidas. *En: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición.* Univ. Autón. De Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto de Ecología. México: 177-190.
- Álvarez, R. M., F. L. Amezcua y A. Yañez-Arancibia, 1986. Ecología y estructuras de comunidades de peces en el sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, Nayarit, México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México, 13(1): 185-242.*
- Amezcua-Linares, F. y Z. G. Castillo-Rodríguez, 1992. Alimentación y reproducción del sol *Achirus mazatlanus* (Steindachner, 1869) en el sistema lagunar costero de Agua Brava, Pacífico de México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México, 19(2): 181-194.*
- Baker, S. R., y C. F Wilkinson, 1990. The effects of pesticides on human health: Advances in modern environmental toxicology. Princeton Sci. Pub., Princeton, NJ. 680 pp.
- Barbash, J. E., 2005. The geochemistry of pesticides. *En: B. S. Lollar (Ed.). Environmental Geochemistry, Vol. IX of Treatise on Geochemistry (H.D.Holland and K.K. Turekian Eds.), Elsevier—Pergamon, Oxford, UK: 541-573.*
- Beard, J., 2005. DDT and human health. *Sci. Tot. Environ., 355: 78-89.*

- Betancourt, J. R. y G. Ramírez, 2005. Estudio de los procesos relacionados con la presencia de plaguicidas organoclorados en la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 34(1): 121-139.
- Boletín Epidemiología, 2008. Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud. <http://www.dgepi.salud.gob.mx/boletin/boletin.htm> [Consulta: 29 de Febrero del 2008].
- Boletín para el Control del Tabaco, 2004. Departamento de Investigación sobre Tabaco. Instituto Nacional de Salud Pública de México. [http://www.insp.mx/tabaco/boletines/julio\\_04.pdf](http://www.insp.mx/tabaco/boletines/julio_04.pdf) [Consulta: 22 de abril del 2008].
- Bollag, J. C. y C. Myers, 1992. Detoxification of aquatic and terrestrial sites through binding of pollutants to humic substances. *Sci. Tot. Environ.*, 117/118: 357-366.
- Boon, J. P. y J.C. Diunker, 1986. Monitoring of Cyclic Organochlorines in the marine environment. *Environ. Mon. Assess*, 7: 189-208.
- Boon, J. P., M. W. van Zantvoort, M. J. Govaert y J. C. Duinker, 1985. Organochlorines in Benthic Polychaetes (*Nephtys spp*) and Sediments from the Southern North Sea. Identification of Individual PCB Components, *Neth. J. Sea. Res.*, 19: 93-109.
- Botello, A. V., G. Díaz, L. Rueda y S. F. Villanueva, 1994. Organochlorine compounds in oysters and sediments from coastal lagoons of the Gulf of Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 53: 238-245.
- Botello, A. V., L. Rueda-Quintana, G. Díaz-González y A. Toledo, 2000. Persistent organochlorine pesticides (POPS) in coastal lagoons of the subtropical Mexican Pacific. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 64: 390-397.
- Brooks, G. T., 1974. *Chlorinated Insecticides*. Vol. II. Biological and environmental aspects. CRC Press. Cleveland, USA. 197 pp.

- Buchman, M. F., 1999. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA HAZMAT Report 99-1, Seattle, WA, Coastal Protection and Restoration Division, National Oceanic Atmospheric Administration. [http://response.restoration.noaa.gov/book\\_shelf/122\\_squirt\\_cards.pdf](http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/122_squirt_cards.pdf) [Consulta: 20 de Junio del 2008].
- Comisión Nacional del Agua (CNA), 2000. *Ley Federal de Derechos en materia de Agua*. CNA. México, D. F. 25-30 pp.
- Carvalho, F. P., S. Montenegro-Guillen, J. P. Villeneuve, C. Cattini, J. Bartocci, M. Lacayo y A. Cruz, 1999. Chlorinated hydrocarbons in coastal lagoons of the pacific coast of Nicaragua. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 36: 132–139.
- Carvalho, F. P., S. W. Fowler, F. González-Farias. L. D. Mee, y J. W. Readman, 1996. Agrochemical residues in the Altata-Ensenada del Pabellon coastal lagoon (Sinaloa, Mexico): A need for integrated coastal zone management. *Int. J. Environ. Health Res.*, 6: 209-220.
- Castillo, B, E., 2000. *Condiciones ambientales y de contaminación por plaguicidas organoclorados en el sistema lagunario Agua Brava, municipios de Acaponeta y Tecuala, Nayarit, (para el periodo septiembre/94- julio/95)*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa, México, 114 pp.
- Castillo, B. E., 2005. *Situación ambiental del estero de Cautla, Tecuala, Nayarit*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nayarit, México, 63 pp.
- CICOPLAFEST, 2004. Catálogo Oficial de Plaguicidas. Comisión Intersecretarial para el Control y uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. México, D.F. 624 pp.
- Cisneros-Estrada, X. y F. González-Farias, 2007. *Estudio comparativo del uso de agroquímicos en dos distritos agrícolas de la región del Pacífico Norte*. XIV Congreso Nacional de Irrigación: Modernizar el riego, un imperativo para México. 3-5 de octubre del 2007, Morelia, Michoacán. 16-25 pp.

Contreras, E. F., 1993. *Ecosistemas costeros mexicanos*. 1ª Ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México, D.F. 415 pp.

Contreras-Espinosa, F. y L. M. Zabalegui-Medina, 1991. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en la Laguna la Joya-Buenavista, Chiapas, México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 18(2): 207-215.

Convenio de Estocolmo, 2001. *Instrumento de Ratificación del sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, hecho en Estocolmo el 22 de mayo de 2001*. <http://noticias.juridicas.com/> [Consulta: 21 de marzo del 2008].

Cremlyn, R., 1989. *Plaguicidas modernos y su acción bioquímica*. Editorial Limusa. México. 356 pp.

Cruz, A. M., 2005. *Campesinos, explotados por trasnacionales en Nayarit*. La Jornada [www.jornada.unam.mx/2005/10/28/026n3pol.php](http://www.jornada.unam.mx/2005/10/28/026n3pol.php) [Consulta: 1 de mayo del 2007].

de la Lanza, E. G., 1986a. Calidad ambiental de la laguna de Mezcaltitán, Nayarit, México, durante el estiaje: Nota científica. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 13(2): 315-328.

de la Lanza, E. G., 1986b. Materia orgánica en los sedimentos del sistema lagunar Huizache y Caimanero: importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 13: 251-286.

de la Lanza, E. G., 1987. Química de la fase sedimentaria en las lagunas costeras. *En: S. Gómez-Aguirre y V. A. Fuentes (Eds.). Contribuciones en Hidrobiología*. Univ. Nal. Autón. de México: 135-153.

Albert, L. A. y R. L. Gallardo, 2005. Química y Ecotoxicología de los Insecticidas. *En: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México*,

*Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2da Edición. Univ. Autón. De Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto de Ecología. México: 177-190.

de la Lanza-Espino, G., 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT Editor S.A., México, D.F. 547-557 pp.

de la Lanza-Espino, G. y Gómez, M., 1999. Físicoquímica del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. *Ciencia Ergo Sum*, 6(2): 147-153.

Díaz-González, G. y L. Rueda Quintana, 1996. Niveles de concentración de plaguicidas organoclorados en las lagunas del Carmen, Machona y Alvarado. *En: A. V. Botello, J. L. Rojas Galaviz, J. A. Benítez y D. Zárate Lomelí (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX Serie Científica 5*. Universidad Autónoma de Campeche. México: 177-185.

Dierksmeier, G., 2001. *Plaguicidas: Residuos, efectos y presencia en el medio*, 1ª Ed. Editorial Científico-Técnica, Ciudad de La Habana, Cuba. 472 pp.

Duinker, J.C., M.T. Hillebrand y J. P. Boon, 1983. Organochlorines in benthic invertebrates and sediments from Dutch Wadden Sea: Identification of individual PCB components. *Neth. J. Sea Res.*, 17: 19-38.

Eddlesto, M. y D. N. Bateman, 2007. Poisonous substances: Pesticides. *Medicine*, 35(12): 646-648.

El-Sayed, M. A., W. M. Aboul Naga, A. I. Beltagy y Y. Halim, 1996. Sedimentary humic substances isolated from a coastal lagoon of the Nile Delta: physical and chemical characteristics. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 43: 205-215.

Environmental Protection Agency (EPA), 1979. Manual for analytical quality control for pesticides and related compounds in human and environmental samples. First revision. 600/1 79-008, USA.



- EPA, 1993. *Sediment quality Criteria for the protection of bentonic organisms: Endrin*, EPA-822-F-93-007.
- EPA, 1993. *Sediment quality Criteria for the protection of bentonic organisms: Dieldrin*, EPA-822-F-93-011.
- FAO-IAEA-IOC, 1989. *Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 43*, Food and Agriculture Organization, International Atomic Energy Agency, International Oceanographic Commission.
- Favari, L., E. López, L. Martínez-Tabche y E. Díaz-Pardo, 2002. Effect of insecticides on plankton and fish of Ignacio Ramirez Reservoir (Mexico): A biochemical and biomagnification Study. *Ecotoxi. Environ. Safe.*, 51: 177-186.
- Flores-Verdugo, F. (Coord.), 1986. *Ecología de manglares y perfil de comunidades en los sistemas lagunares de Agua Brava y Marismas Nacionales, Nayarit. Informe Técnico. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Clave: PCECBNA-022068. 350 pp.*
- Flores-Verdugo, F., 1990. Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar. *En: De la Rosa-Vélez, J. y F. González-Farias (Eds). Temas de Oceanografía Biológica en México. Vol. II. Universidad Autónoma de Baja California, México: 21-56.*
- Flores-Verdugo, F., F. González-Farias, O. Ramirez-Flores, F. Amezcua, A. Yáñez-Arancibia, M. Álvarez y J. W. Day Jr., 1990. Mangrove ecology, aquatic primary productivity and fish community dynamics in the Teacapán-Agua Brava lagoon estuarine system (mexican Pacific). *Estuaries*, 13: 219-230.
- Flores-Verdugo, F., R. Briseño-Dueñas, F. González-Farias y O. Calvario-Martínez, 1995. Balance de carbono en un ecosistema lagunar estuarino de boca efímera de la costa noroccidental de México (Estero El Verde, Sinaloa). *En: F. González-Farias y J. de la Rosa Vélez (Eds.). Temas de Oceanografía Biológica en México. Vol II. Universidad Autónoma de Baja California, México: 137-162.*

- Franco, P., 2000. *Los plaguicidas atentan contra etnia en México: La siembra de la muerte*. [www.tierramerica.net/2000/1105/exclusiva.html](http://www.tierramerica.net/2000/1105/exclusiva.html) [Consulta: 01 de Mayo de 2007].
- Galindo-Reyes, J. G., L. D. Venezia, G. Lazcano-Alvarez y H. Rivas-Mendoza, 2000. Enzymatic and osmoregulative alterations in white shrimp *Litopenaeus vannamei* exposed to pesticides. *Chemosphere.*, 40: 233-237.
- Guillermo Galindo Reyes, J. G., N. R. Leyva, O. A. Millan and G. A. Lazcano. 2002. Effects of pesticides on DNA and protein of shrimp larvae *Litopenaeus stylirostris* of the California Gulf. *Ecotoxi. Environ. Safe.*, 53: 191-195.
- Galindo-Reyes, J. G. V. U. Fossato, C. Villagrana-Lizarraga y F. Dolci, 1999. Pesticides in water, sediments, and shrimp from a coastal lagoon off the Gulf of California. *Mar. Poll. Bull.*, 38(9): 837-841.
- García-de la Parra, L. M., J. C. Bautista-Covarrubias, N. Rivera-de la Rosa, M. Betancourt-Lozano y L. Guilhermino, 2006. Effects of methamidophos on acetylcholinesterase activity, behavior, and feeding rate of the white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Ecotoxi. Environ. Safe.*, 65(3): 372-380.
- García, E., 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Copen (Adaptación a Condiciones de la República Mexicana)*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. 243 pp.
- Gardner, S. C., M. D. Pier, R. Wesselman y J. A. Juárez, 2003. Organochlorine contaminants in sea turtle from the Eastern Pacific. *Mar. Poll. Bull.*, 46: 1082-1089.
- Gaudette H. E., W. R. Flight, L. Toner y D. M. Folger, 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Jour. Sedim. Petrol.*, 44: 249-253.

- Gill, T. S., J. Pande y H. Tewari, 1990. Enzyme modulation by sublethal concentrations of aldicarb, phosphamidon, and endosulfan in fish tissues. *Pest. Biochem. Physiol.*, 38(3): 231-244.
- Gómez- Aguirre, S., 1981. *Comunidades planctónicas representativas de estuarios y lagunas costeras del noroeste de México (105°-110° W y 22°-27°N) en los años 1963 a 1973*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM. 122 pp.
- González-Farias, F., 2003. Pesticides in the coastal zone of Mexico. *En: M. D. Taylor, S. J. Klaine, F. P. Carvalho, D. Barcelo and J Everaarts (Eds.) Pesticide Residues in Coastal Tropical Ecosystems: Distribution, fate and effects*. Taylor y Francis, Nueva York: 311-337.
- González-Farias, F., F. P. Carvalho, S. W. Fowler y O. Cotret, 1998. *Interaction Between Pesticides and Humic Substances from Tropical Coastal Lagoons*, International Symposium on Marine Pollution, International Atomic Energy Agency – Monaco Principality, Monaco, October 5–9, IAEA-SM-354/84P.
- González-Farias, F., X. Cisneros-Estrada, C. Fuentes-Ruíz, G. Díaz-González y A. V. Botello, 2002. Pesticides distribution in sediments of tropical coastal lagoon adjacent to an irrigation district in northwest Mexico. *Enviro. Tech.*, 23: 1247-1256.
- González-Farias, F., F. Flores-Verdugo y M. Hernández-Garza, 1997. Annual variation of particulate organic carbon and mangrove detritus in Agua Brava lagoon, Nayarit, Mexico. *En: B. Kjerfve, L. Drude de Lacerda and E. H. Salif Diop (Eds.). Mangrove Ecosystem Studies in Latin America And Africa*, ISME, US y UNESCO, Paris: 47–63.
- González-Farias, F., M. R. Hernández-Garza y G. Díaz-González, 2006. Organic carbon and pesticide pollution in a tropical coastal lagoon-estuarine system in Northwest Mexico. *Int. J. Environ. Pollut.*, 26(1): 234-253.
- Gould-Bouchot, G., T. Silva-Herrera y O. Zapata-Pérez, 1993. Chlorinated pesticides in the Río Palizada, Campeche, México. *Mar. Poll. Bull.*, 26(11):648–650.

- Hodgson, E. yd P. L. Levi, 2001. Metabolism of Pesticides. *En: R. Krieger (Ed). Handbook of Pesticide Toxicology*. Vol. 1. Academic Press, Nueva York: 531-548.
- Howard, H. P. (Ed.), 1991. *Handbook of Enviromental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals*, Volume 3: *Pesticides*, Lewis Publishers, Michigan, U.S.A. 684 pp.
- Hendrickx, M. E., F. Flores-Verdugo, A. M. van der Heiden y R. Brisero-Dueñas. Fauna survey of the decapod crustaceans, reptiles and coastal birds of the estero El Verde, Sinaloa, Mexico, with some notes on their biology. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 10(1): 187-194.
- Ishiwatari, R., 1992. Macromolecular material (humic substance) in the water column and sediments. *Mar. Chem.* 39:151-166.
- Janôds, P., 2003. Separation methods in the chemistry of humic substances. *Jour. Chromat., A*, 983: 1–18.
- Jover, E., A. Gómez-Gutiérrez, J. Albaigés y J. M. Bayona, 2007. Transport of organic contaminants through salinity stratified water masses. A microcosm experiment. *Chemosphere.*, 66: 730–737.
- Kalbitz, K., P. Popp, W. Geyer y G. Hanschmann, 1997.  $\beta$ -HCH mobilization in polluted wetland soils as influenced by dissolved organic matter. *Sci. Tot. Environ.*, 204(1): 37-48.
- Kaur, K., y M. D. Ansal, 1996. Sensitivity of selected zooplankton exposed to phosphamidon, fenitrothion and fenthion. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 57: 199-203.
- Klavins, M., L. Eglite y A. Zicmanis, 2006. Immobilized humic substances as sorbents. *Chemosphere.*, 62: 1500–1506.
- Kordel, W., M. Dassenakis, J. Lintemann, y S. Padberg, 1997. The importance of natural organic material for environmental processes in waters and soils. *Pure Appl. Chem.*, 69(7): 1571-1600.

- Krumbein, W. C. y L. L. Sloss, 1969. *Estratigrafía y Sedimentación*. Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana, México, D.F. 778 pp.
- Laws, E. A., 1993. *Aquatic Pollution: An Introductory Text*, 2ª Ed. John Wiley y Sons, INC., Nueva York. 611 pp.
- Lee, K. T., S. Tanabe y C. H. Koh, 2001. Distribution of organochlorine pesticides in sediments from Kyeonggi Bay and nearby areas, Korea. *Environ. Poll.*, 114: 207-213.
- Lenardón, A. M., P. M. de la Sierra y F. Marino, 2001. Persistencia del endosulfán en medio acuoso estático. *R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, 11: 115-126.
- Leyva-Cardoso, D. O., G. Ponce-Velez, A. V. Botello y G. Díaz-González, 2003. Persistent organochlorine pesticides in coastal sediments from Petacalco Bay, Guerrero, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 71: 1244-1251.
- Libes, S. M., 1992. *An Introduction to Marine Biochemistry*. John Wiley y Sons, INC., Nueva York. 734 pp.
- Liliane-Eustache, O., C. Brochu, C. Deblois, S. Akponan, M. Marion, D. Averill-Bates y F. DenizEAU, 2002. Vitellogenin in tilapia male fishes exposed to organochlorine pesticides in Ouémé River in Republic of Benin. *Sci. Tot. Environ.*, 299: 163-172.
- Liu, M. Y. Yang, L. Hou, S. Xu, D. Ou, B. Zhang y Q. Liu, 2003. Chlorinated organic contaminants in surface sediments from the Yangtze Estuary and nearby coastal areas, China. *Mar. Poll. Bull.*, 46: 659-676.
- Lozano, J. G., 1993. *Herpetofauna de la cuenca de los ríos Santiago y Huaynamota, en el estado de Nayarit, con aspectos sobre impacto ambiental*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. 76 pp.

- Lydy, M. J., T. W. Lohner y S. W. Fisher, 1990. Influence of pH, temperature and sediment type on the toxicity, accumulation and degradation of parathion in aquatic systems. *Aquat. Toxicol.*, 17(1): 27-44.
- McDowell, J., M. Moore and J. Widdows, 1988. Effects of toxic chemicals in the marine environment: Predictions of impacts from laboratory studies. *Aquat. Toxicol.*, 11: 303-311.
- McEwen, F. L. y G. R. Stephenson, 1979. The use and significance of pesticides in the environment. Jhon Wiley y Sons, Nueva York, USA. 538 pp.
- Medina-Carrilo, L. F. Rivas-Solis y R. Fernandez-Arguelles, 2002. Risk for congenital malformations in pregnant women exposed to pesticides in the state of Nayarit, Mexico. *Ginecol Obstet Mex.* 70: 538-544.
- Menone, M. L., J. E. Aizpún de Moreno, V. J. Moreno, A. L. Lanfranchi, T. L. Metcalfe y C. D. Metcalfe, 2001. Organochlorine pesticides and PCBs in a Southern Atlantic coastal lagoon watershed, Argentina. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 40: 355-362.
- Mesnage V, S. Bonneville, B. Laignel, J. P. Dupont, D. Lefebvre y D. Mikes, 2002. Filling of a wetland (Seine estuary, France): Natural eutrophication or anthropogenic process? A sedimentological and geochemical study of wetland organic sediments, *Hydrobiol.*, 475/476: 423-435
- Meyers, P. A y R. Ishiwatari, 1993. Lacustrine organic geochemistry-an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organ. Geochem.*, 20: 867-900.
- Millero, F. J., 1996. *Chemical Oceanography*. 2nd Ed. CRC Press, Boca Raton, Florida. 469 pp.
- Murray, H. E., y R. K. Guthrie, 1980. Effects of carbaryl, diazinon and malathion on native aquatic populations of microorganism. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 24: 535-542.

- Narváez, J. R., 2007. *Alerta en Nayarit por Intoxicaciones por plaguicidas*. La Jornada <http://www.jornada.unam.mx/2007/08/04/index.php?section=estadosyarticle=029n2est> [Consulta: 22 de abril de 2008].
- National Academy of Sciences (NAS), 1993. *Control de plagas de plantas y animales. Manejo y Control de plagas de insectos*. Vol. III. Editorial Limusa, México, D. F. 522 pp.
- Osuna-Flores, I. y M. C. Riva, 2002. Organochlorine pesticide residue concentrations in shrimps, sediments, and surface water from Bay of Ohiura, Topolobampo, Sinaloa, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 68: 532-539.
- Pacheco, M. L., E. M. Peña-Méndez y J. Havel, 2003. Supramolecular interactions of humic acids with organic and inorganic xenobiotics studied by capillary electrophoresis. *Chemosphere.*, 51: 91-108.
- Páez-Osuna, F. M. L. Fong-Lee y H. Fernández-Pérez, 1984. Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos Nota Científica. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 11(1): 233-239.
- Pennati R., S. Gropelli, G. Zega, M. Biggiogero, F. De Bernardi y C. Sotgia, 2006. Toxic effects of two pesticides, Imazalil and Triadimefon, on the early development of the ascidian *Phallusia mammillata* (Chordata, Ascidiacea). *Aquat. Toxicol.*, 79(3): 205-212.
- Pérez-Ruzafa, A., S. Navarro, A. Barba, C. Marcos, M. A. Cámara, F. Salas y J. M. Gutiérrez, 2000. Presence of pesticides throughout trophic compartments of the food web in the Mar Menor Lagoon (SE Spain). *Mar. Poll. Bull.*, 40,(2): 140-151.
- Perumal, P. y P. Subramanian, 1989. Photosynthetic pigments and humic acids in tropical coastal board ecosystems. Pigmentos fotosintéticos y ácidos húmicos en ecosistemas costeros tropicales. *Ciencias Marinas*. 15(2): 67-77.

- Picard, A., G. Pahlavan, S. Robert, D. Pesando y B. Ciapa, 2003. Effect of organochlorine pesticides on maturation of starfish and mouse oocytes. *Toxicol. Sci.*, 73(1): 141-148.
- Plimmer, J., 1992. Dissipation of pesticides in the environment, p. 79-90. *In*: J. Schnoor (Ed.) Fate of pesticides and chemicals in the environment. John Wiley & Son, Inc. New York. 436 pp.
- Plimmer, J. R., 2001. Chemistry of pesticides. *En*: R. Krieger (Ed). *Handbook of Pesticide Toxicology*. Vol. 1. Academic Press, Nueva York: 95-107.
- Quiroga, A. G., 1987. *Análisis de la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, nivel de marea y precipitación con relación a la inmigración del género Penaeus spp. en cinco bocas del estero de los Estados de Sinaloa y Nayarit*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. 40 pp.
- Radke, L. C., C. S. Smith, D. A. Ryan, B. Brooke y D. Heggie, 2003. Coastal Indicator Knowledge and Information System I: Biophysical Indicators. [Web document]. Canberra: Geoscience Australia. [www.ozestuaries.org/indicators](http://www.ozestuaries.org/indicators) [Consulta: 01 de mayo del 2007].
- RAMSAR, 2006. The List of Wetlands of International Importance (List of Ramsar). <http://www.ramsar.org/sitelist.doc> [Consulta: 10 de Octubre del 2006].
- Ramos, M. F., 2002. *Análisis y evaluación ecológica de la avifauna marina y acuática del occidente de Nayarit*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. 78 pp.
- Rao, D. M. R., A. P. Devi y A. S. Murty, 1981. Toxicity and metabolism of endosulfan and its effect on oxygen consumption and total nitrogen excretion of the fish *Macrogathus aculeatum*. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 15(3): 282-287.
- Rav-Acha, C. y M. Rebhun, 1992. Binding of organic solutes to dissolved humic substances and its effects on adsorption and transport in the aquatic environment. *Wat. Res.*, 26: 1645-1654.



- Rendón von Osten, J., M. Memije Canepa, y N. A. Ek Moo, 2005. Plaguicidas orgánicos persistentes (POPs) en sedimentos de la costa sur de Campeche, México. *En: Botello, A. V., J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2da Edición. Univ. Autón. De Campeche, Univ. Nal. Autón de México, Instituto Nacional de Ecología: 249-260.
- Restrepo, I., 1988. *Naturaleza Muerta: Los Plaguicidas en México*. Ediciones Omega, México, D.F., 236 pp.
- Ribeiro, A. A. O., Y. Vollaire, A. Sanchez-Chardi y H. Roche, 2005. Bioaccumulation and the effects of organochlorine pesticides, PAH and heavy metals in the eel (*Anguilla anguilla*) at the Camargue Nature Reserve, France. *Aquat. Toxicol.*, 74: 53-69.
- Robledo-Marengo, M. L., A. V. Botello, C. A. Romero-Bañuelos y G. Díaz-González, 2006. Presence of persistent organochlorine pesticides in estuaries of the subtropical Mexican Pacific. *Int. J. Environ. Poll.*, 26: 284-294.
- Rosales, M. T. L., 1979. Sobre la dispersión de compuestos organoclorados en el medio ambiente marino: Nota científica. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 6(1): 33-36.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards y U. Alvarez-Rivera, 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado Lagoon system, Veracruz, Mexico. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 13(3): 19-28.
- Rosales, M. T. L., R. L. Escalona, R. M. Alarcón y V. Zamora, 1985. Organochlorine hydrocarbon residues in sediments of two different lagoons of Northwest México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 35: 322-330.

- Ruiz-Fernández, A. C., M. Frignani, T. Tesi, H. Bojórquez-Leyva, L. G. Bellucci y F. Páez-Osuna, 2007. Recent sedimentary history of organic matter and nutrient accumulation in the Ohuira Lagoon, northwestern Mexico. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 53: 159–167.
- SAGARPA, 2006. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comdeagr.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeagr.html) [Consulta: 05 de Octubre del 2006].
- Sericano, J. L. y A. E. Pucci, 1984. Chlorinated hydrocarbons in the sea water and surface sediments of Blanca Bay, Argentina. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 19: 27-51.
- Soárez, C. M. 1996. *Ingeniería del medio ambiente. Aplicada al medio Natural Continental*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 701 pp.
- Stenersen, J., 2004. *Chemical Pesticides. Mode of action and toxicology*. CRC PRESS, Nueva York, USA. 276 pp.
- Stetter, J., 1983. Insecticidal Chlorohydrocarbons. *En: K. H. Büchel (Ed.). Chemistry of pesticides*. Jhon Wiley & Sons, Nueva York, USA: 24-48.
- Tolosa, I., J. W. Readman y L. D. Mee, 1996. A comparison of the performance of solid phase extraction techniques in recovering organophosphorus and organochlorine compounds from water. *J. Chromatogr.*, 725: 93-106.
- Thurman, E. M. y R. L. Malcolm, 1981. Preparative Isolation of Aquatic Humic Substances. *Envir. Sci. Technol.* 15: 463-466.
- UNEP-IAEA-IOC, 1982. Determination of DDT's, PCB's and other hydrocarbons in marine sediments by gas liquid chromatography, *Reference Methods for Marine Pollution Studies*, No. 17. United Nations Environmental Programme, International Atomic Energy Agency, Viena.

- Waliszewski, S. M., A. A. Aguirre, A. Benitez, R. M. Infanzon, R. Infanzon y J. Rivera, 1999a. Organochlorine pesticide residues in human blood serum of inhabitants of Veracruz, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 62: 397-402.
- Waliszewski, S. M., A. A. Aguirre, R. M. Infanzon, A. Benitez y J. Rivera, 1999b. Comparison of organochlorine pesticide levels in adipose tissue and human milk of mothers living in Veracruz, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 62: 685-690.
- Weisbrod, A. V., D. Shea, M. J. Moore y J. J. Stegeman, 2001. Species, tissue and gender-related organochlorine bioaccumulation in white-sided dolphins, pilot whales and their common prey in the Northwest Atlantic. *Mar. Environ. Res.*, 51: 29-50.
- Yamano, T. y S. Morita, 1992. Hepatotoxicity of trichlorfon and dichlorvos in isolated rat hepatocytes. *Toxicology*. 76: 69-77.