



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



**CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS EN EL
SISTEMA LAGUNAR NAVACHISTE-MACAPULE,
SINALOA, MÉXICO.**

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestra en Ciencias
(Química Acuática)

p r e s e n t a

ADRIANA MAYANIN MONTES NAVA

Director de Tesis: Dr. FERNANDO GONZÁLEZ FARIAS

Comité Tutorial: Dr. ALFONSO VÁZQUEZ BOTELLO
Dr. GILBERTO DÍAZ GONZÁLEZ
Dr. FRANCISCO FLORES VERDUGO
Dra. CECILIA VANEGAS PÉREZ

México, D.F., 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 quienes con su amor, cariño y apoyo incondicional siempre han estado presentes en mi vida:

Eduardo Montes Tapia

Laura Mayanin Nava Vargas

Luis David Montes Nava

René Rosas Camacho

José Luis Nava Reyes

Maria Elena Vargas Miranda

Ernesto Montes Ledesma

María Luisa Tapia Velásquez

Marisela Nava Vargas

Fabiola Gutiérrez Zamora

A toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Dr. Fernando González Farias por su confianza, sus críticas constructivas y por la experiencia que adquirí durante la realización de esta tesis.

Al Dr. Alfonso Vázquez Botello por brindarme la oportunidad y facilidades para realizar este trabajo en el Laboratorio de Contaminación Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL), Universidad Nacional Autónoma de México.

A mis sinodales Dr. Fernando González Farias, Dr. Alfonso Vázquez Botello, Dr. Gilberto Díaz González, Dr. Francisco Flores Verdugo y Dra. Cecilia Vanegas Pérez por sus observaciones y sugerencias.

A M. en C. Guadalupe Ponce Vélez por sus conocimientos, consejos, apoyo, ayuda y críticas todos los aspectos.

A mis compañeras de laboratorio por su ayuda, conocimientos y por hacer muy agradable la estancia en el laboratorio: M. en C. Claudia García Ruelas, Q. A. Enedina Chávez, M. en C. Laura Fernández Bringas, Biól. Susana Villanueva e Iraís.

Al Dr. Francisco Rojo por sus conocimientos y ayuda que me ha brindado.

A la Dra. Marisa Mazari por las facilidades y la oportunidad de realizar la cromatografía de las muestras.

Al Dr. Carranza Edwards, al M. en C. Eduardo y Q. A. Adriana por su ayuda para realizar la granulometría del sedimento.

A M.en C. Diana Escobedo-Urias por su apoyo durante la realización de los muestreos.

Al Proyecto 32 subprograma Agua 2000 CNA-CONACyT. “ Estudio sobre la calidad del agua y dinámica de contaminantes en las zonas norte y sur de la cuenca Pacífico norte”.

CONTENIDO

| | | |
|----|---|----|
| 1. | RESUMEN..... | 1 |
| 2. | INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| | 2.1. Plaguicidas..... | 3 |
| 3. | ANTECEDENTES..... | 18 |
| 4. | HIPÓTESIS..... | 20 |
| 5. | OBJETIVOS..... | 20 |
| 6. | ÁREA DE ESTUDIO..... | 21 |
| 7. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 28 |
| | 7.1. Colecta de muestras..... | 28 |
| | 7.2. Determinación de OCs en agua..... | 28 |
| | 7.3. Determinación de OCs en sedimento..... | 29 |
| | 7.4. Cromatografía de gases..... | 30 |
| | 7.5. Análisis granulométrico..... | 35 |
| | 7.6. Carbono Orgánico Total (COT)..... | 36 |
| 8. | RESULTADOS..... | 38 |
| | 8.1. Salinidad..... | 38 |
| | 8.1.1. Época de estiaje cálido (junio)..... | 38 |
| | 8.1.2. Época de lluvias (agosto)..... | 38 |
| | 8.1.3. Época estiaje frío (marzo)..... | 39 |
| | 8.2. Temperatura Superficial..... | 40 |
| | 8.2.1. Época de estiaje cálido (junio)..... | 40 |
| | 8.2.2. Época de lluvias (agosto)..... | 40 |
| | 8.2.3. Época de estiaje frío (marzo)..... | 41 |
| | 8.3. pH..... | 42 |
| | 8.4. Granulometría..... | 44 |
| | 8.4.1. Época estiaje cálido (junio)..... | 44 |
| | 8.4.2. Época de lluvias (agosto)..... | 47 |
| | 8.4.3. Época de estiaje frío (marzo)..... | 49 |
| | 8.5. Carbono Orgánico Total (COT)..... | 52 |
| | 8.5.1. Época de estiaje cálido (junio)..... | 52 |
| | 8.5.2. Época de lluvias (agosto)..... | 54 |
| | 8.5.3. Época de estiaje frío (marzo)..... | 55 |
| | 8.6. OCs en agua..... | 58 |
| | 8.7. OCs en sedimentos..... | 61 |
| | 8.7.1. Época de estiaje cálido (junio)..... | 61 |
| | 8.7.2. Época de lluvias (agosto)..... | 71 |
| | 8.7.3. Época de estiaje frío (marzo)..... | 81 |

| | |
|---|-----|
| 8.8. Comparación de los OCs presentes en el sedimento del sistema Navachiste-Macapule con las Tablas de Referencia para sedimentos..... | 97 |
| 9. DISCUSIÓN..... | 102 |
| 10. CONCLUSIONES..... | 113 |
| 11. REFERENCIAS..... | 115 |
| 12. ANEXO..... | 130 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 1. | Principales procesos en las lagunas costeras | 2 |
| Figura 2. | Porcentaje de los diferentes plaguicidas autorizados en México (CICOPLAFEST, 2004)..... | 5 |
| Figura 3. | Movilidad de los OCs en la trama trófica | 7 |
| Figura 4. | Estructura química de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos | 8 |
| Figura 5. | Estructura química de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos | 9 |
| Figura 6. | Estructura química de los OCs derivados de hidrocarburos cicloalifáticos | 10 |
| Figura 7. | Estructura química de los OCs derivados del pentaciclodecano | 11 |
| Figura 8. | Estructura química del toxafeno | 11 |
| Figura 9. | Estructura química del hexaclorobenceno | 12 |
| Figura 10. | Mecanismos de degradación y transporte de los plaguicidas en la zona costera..... | 15 |
| Figura 11. | Toponimia del área de estudio | 26 |
| Figura 12. | Tipo de suelo en el área de estudio | 27 |
| Figura 13. | Sitios de muestreo en el sistema Lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México | 32 |
| Figura 14. | Técnica de análisis de OCs en agua y sedimentos | 33 |
| Figura 15. | Cromatograma de estándar externo de OCs y estándar interno..... | 34 |
| Figura 16. | Variación temporal de salinidad (‰) en el Sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa..... | 40 |
| Figura 17. | Variación de la temperatura (°C) en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa..... | 42 |
| Figura 18. | Variación del pH en el sistema Navachiste-Macapule, Sinaloa..... | 43 |
| Figura 19. | Porcentaje de fracciones granulométricas durante la época de estiaje cálido (junio) en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa..... | 46 |
| Figura 20. | Porcentaje de fracciones granulométricas durante la época de lluvias (agosto) en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa..... | 48 |
| Figura 21. | Porcentaje de fracciones granulométricas durante la época de estiaje frío (marzo) en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa..... | 51 |
| Figura 22. | Porcentaje promedio de las fracciones sedimentarias presentes en el sistema Navachiste-Macapule entre épocas de muestreo | 52 |
| Figura 23. | Porcentaje de COT en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa. Época de estiaje cálido (junio)..... | 53 |
| Figura 24. | Porcentaje de COT en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa. Época de lluvias (agosto)..... | 55 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| Figura 25. | Porcentaje de COT en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa. Época de estiaje frío (marzo). | 56 |
| Figura 26. | Distribución espacial de OCs en sedimentos del sistema Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio). | 65 |
| Figura 27. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época estiaje cálido (junio). | 66 |
| Figura 28. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio). | 67 |
| Figura 29. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiélicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio). | 70 |
| Figura 30. | Distribución espacial de OCs en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule en la época de lluvias (agosto). | 72 |
| Figura 31. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto). | 76 |
| Figura 32. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, durante la época de lluvias. | 78 |
| Figura 33. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiélicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto). | 80 |
| Figura 34. | Distribución espacial de los OCs en sedimento del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, durante la época de estiaje frío (marzo). | 85 |
| Figura 35. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa en la época de estiaje frío (marzo). | 86 |
| Figura 36. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje frío (marzo). | 88 |
| Figura 37. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiélicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje frío (marzo). | 90 |
| Figura 38. | Distribución espacial de los OCs en el sistema considerando las tres épocas. | 93 |
| Figura 39. | Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, considerando las tres épocas. | 94 |

| | |
|--|-----|
| Figura 40. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en sedimento del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, considerando las tres épocas | 94 |
| Figura 41. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos en sedimento del sistema lagunar Navachiste-Macapule, considerando las tres épocas | 95 |
| Figura 42. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el γ -HCH comparados con la laguna..... | 98 |
| Figura 43. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el γ -HCH comparados con los drenes | 98 |
| Figura 44. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el dieldrín comparados con la laguna..... | 99 |
| Figura 45. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el endrín comparado con los drenes | 99 |
| Figura 46. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el DDT total (ng/g) comparado con la laguna..... | 100 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabla 1. | OCs prohibidos, restringidos y autorizados en México..... | 6 |
| Tabla 2. | Efectos y modo de acción de los OCs..... | 17 |
| Tabla 3. | Valores de precipitación y temperatura para el estado de Sinaloa..... | 18 |
| Tabla 4. | Tiempo y área de la mezcla del estándar externo y estándar interno..... | 34 |
| Tabla 5. | Valores de límite de detección para agua y sedimento..... | 35 |
| Tabla 6. | Valores promedio de la salinidad del agua y desviación estándar (en paréntesis) en laguna y drenes en las épocas de estiaje cálido (junio), lluvias (agosto) y estiaje frío (marzo)..... | 39 |
| Tabla 7. | Valores promedio de la temperatura del agua y desviación estándar (en paréntesis) en la laguna y drenes en las épocas de estiaje cálido (junio), lluvias (agosto) y estiaje frío (marzo)..... | 41 |
| Tabla 8. | Valores promedio de pH del agua y desviación estándar (en paréntesis) en la laguna y drenes en las épocas de estiaje cálido (junio), lluvias (agosto) y estiaje frío (marzo)..... | 42 |
| Tabla 9. | Ubicación de sitios de muestreo. Se presentan valores de salinidad, temperatura y pH para las tres épocas de muestreo..... | 44 |
| Tabla 10. | Parámetros estadísticos granulométricos en la época de estiaje cálido (junio)..... | 46 |
| Tabla 11. | Parámetros estadísticos granulométricos en la época de lluvias (agosto)..... | 49 |
| Tabla 12. | Parámetros estadísticos granulométricos en la época de estiaje frío (marzo)..... | 51 |
| Tabla 13. | Coefficientes de correlación (r) entre la granulometría y el COT en la época de estiaje cálido (junio)..... | 53 |
| Tabla 14. | Coefficientes de correlación (r) entre la granulometría y COT en la época de lluvias (agosto)..... | 54 |
| Tabla 15. | Coefficientes de correlación (r) entre la granulometría y COT en la época de estiaje frío (marzo)..... | 56 |
| Tabla 16. | Coefficientes de correlación (r) entre la granulometría y COT considerando las tres épocas..... | 57 |
| Tabla 17. | Porcentaje de COT y desviación estándar en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa. Época estiaje cálido (junio), época de lluvias (agosto) y época de estiaje frío (marzo)..... | 58 |
| Tabla 18. | Concentración de OCs en agua (ng/ml) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio)..... | 59 |
| Tabla 19. | Concentración de OCs en agua (ng/ml) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto)..... | 60 |
| Tabla 20. | Concentración de OCs en agua (ng/ml) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje frío (marzo)..... | 61 |
| Tabla 21. | Concentración de OCs en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de..... | 63 |
| Tabla 22. | Concentración de OCs (derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y cicloalifáticos) (ng/g peso seco) y frecuencia de detección en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio)..... | 64 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Tabla 23. | Coeficientes de correlación (r) en la época de estiaje cálido (junio)..... | 71 |
| Tabla 24. | Concentración de OCs en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto)..... | 73 |
| Tabla 25. | Concentración de OCs (derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y cicloalifáticos) (ng/g peso seco) y frecuencia de detección en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto)..... | 74 |
| Tabla 26. | Coeficientes de correlación (r) en la época de lluvias (agosto)..... | 81 |
| Tabla 27. | Concentración de OCs en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, época de estiaje frío (marzo). | 83 |
| Tabla 28. | Concentración de OCs (derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y cicloalifáticos) y frecuencia de detección en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, época de estiaje frío (marzo)..... | 84 |
| Tabla 29. | Coeficientes de correlación (r) en la época de estiaje frío (marzo)..... | 91 |
| Tabla 30. | Concentración de OCs (OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y cicloalifáticos) y frecuencia de detección en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, considerando las tres épocas..... | 92 |
| Tabla 31. | Coeficientes de correlación obtenidos considerando las tres épocas..... | 97 |
| Tabla 32. | Porcentajes de CO reportados para algunos sistemas de Sinaloa y Sonora..... | 105 |
| Tabla 33. | Valores máximos de OCs presentes en sedimento en ecosistemas costeros de Sonora y Sinaloa..... | 112 |

1. RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los niveles y distribución de la contaminación por plaguicidas organoclorados (OCs) en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México, determinando los niveles en agua y sedimento durante el periodo 2006-2007, considerando las épocas de estiaje cálido, lluvias y estiaje frío. Debido a la localización de los sitios de muestreo, éstos se dividieron en laguna y drenes.

Los niveles de OCs en agua estuvieron por debajo del límite de detección, lo cuál no significa que no exista presencia de estos compuestos y riesgo para los organismos acuáticos.

La concentración promedio de los OCs en sedimentos fue 44.75 ng/g, registrándose las mayores concentraciones durante la época de lluvias. En los sedimentos de la laguna el valor promedio fue de 18.97 ng/g, mientras que en los drenes fue de 75.69 ng/g. El grupo de los hidrocarburos alicíclicos registró las mayores concentraciones en el sistema.

Con respecto al sedimento, en la laguna el grupo textural predominante fue el de las arenas finas a muy finas, mientras que en los drenes dominaron los limos. El valor promedio del carbono orgánico total (COT) en el sistema fue de 0.90 %, con un intervalo entre 0.24 % a 2.67 %. El porcentaje promedio de COT en la laguna fue de 0.92 %, mientras que en los drenes el valor promedio fue de 0.87 %.

Los sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule rebasaron algunos valores establecidos por la NOAA (2004) y CCME (2002) por lo que podrían bioacumularse en los organismos del sistema y provocar su transferencia a través de la red trófica, siendo necesario el continuo monitoreo de los niveles de los OCs en el sistema Navachiste-Macapule.

INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras se definen como una depresión de la zona litoral debajo de la altura media de las mareas altas, que posee una comunicación efímera o permanente con el océano y se encuentra protegida de éste por algún tipo de barrera. Son ecosistemas que representan la zona de transición entre el mar y la tierra, siendo influenciados por procesos marinos y continentales (Figura 1) intercambiando material a través de viento, ríos, lluvias, escurrimientos y mareas, los cuales influyen en su productividad (González-Farías y Hernández-Garza, 1989).



Figura 1. Principales procesos en las lagunas costeras.

Las lagunas costeras, son de los ecosistemas más productivos, lo cuál se refleja en su alta producción pesquera y diversidad. Esta elevada productividad se debe a que dichos ecosistemas disponen de nutrientes terrígenos provenientes de los ríos, escurrimientos y del reciclamiento durante la mineralización de la materia orgánica en el sedimento, así como la resuspensión de la materia orgánica en la columna de agua. La alta fertilidad de las lagunas costeras mantienen una rica y compleja trama alimenticia, sosteniendo importantes pesquerías (Botello *et al.*, 2000; Leyva-Cardoso *et al.*, 2003a; Montaña-Ley

et al., 2007). El 90% de la pesca mundial se realiza en la región costera y de ésta el 70% lo constituyen organismos que algún periodo de su vida transcurre en un ecosistema lagunar-estuario (Flores-Verdugo, 1989).

México cuenta con más de 125 lagunas costeras que abarcan el 33% de sus litorales y cubren una superficie aproximada de 12,600 km². El estudio de las lagunas costeras es relevante, ya que tienen importancia ecológica, social y económica (González-Farías *et al.*, 1989; González-Farías *et al.*, 2006).

Actualmente, estas zonas están expuestas a presión antropogénica, siendo seriamente afectadas por la sobreexplotación y la contaminación por sustancias xenobióticas debido a las descargas urbanas, industriales y agrícolas. El número de contaminantes que llegan a éstas aumenta, aunado al crecimiento urbano y las actividades humanas (Albert y Benítez, 2005; Islam y Tanaka, 2004; Leyva-Cardoso *et al.*, 2003 a; Montaña-Ley *et al.*, 2007).

Los plaguicidas sintéticos son un ejemplo típico de los contaminantes xenobióticos que degradan la calidad de los hábitats, de importantes recursos bióticos y pueden afectar la totalidad de los ecosistemas, incluyendo al hombre y otros consumidores al final de las redes tróficas (Albert y Benítez, 2005; Leyva-Cardoso *et al.*, 2003a).

2.1 Plaguicidas

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, en 1986 definió a los plaguicidas como: cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo vectores de organismos causantes de enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causen perjuicio o que interfieran de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera, productos de ésta o productos para animales (FAO, 1986). Los plaguicidas tienen una posición única entre los compuestos químicos que el hombre libera diariamente, ya que son incorporados al ambiente con el propósito de matar o perjudicar a alguna forma de vida. Idealmente su efecto debería ser altamente específico

para organismos no deseados e inofensivo para los demás organismos, pero sus efectos no son selectivos, siendo generalmente tóxicos para otras especies, incluyendo al hombre (Osuna-Flores y Riva, 2002; Yeo *et al.*, 2004).

El uso de los plaguicidas se ha convertido en un grave problema a nivel mundial Van der Werf (1996) estimó que cada año 2.5 millones de toneladas de plaguicidas fueron aplicadas en campos de cultivo a nivel mundial, debido a la falta de control éstos han sido utilizados en cantidades elevadas (Arata, 1986; Tuduri *et al.*, 2006), ya que la lucha contra las plagas se ha basado esencialmente en su utilización masiva (Henaó y Corey, 1986), lo que ha ocasionado serios desequilibrios en los ecosistemas (Favari *et al.*, 2002).

Uso de los plaguicidas en México

El uso de plaguicidas en México inicia a finales del siglo XIX. En 1898 aproximadamente 38 diferentes compuestos se utilizaron para proteger cultivos de plagas.

Actualmente son empleados alrededor de 260 tipos de plaguicidas en México (Rendón *et al.*, 2005). Sin embargo, se reporta un total de 499 plaguicidas autorizados para su uso en el país, de los cuales 158 son insecticidas y acaricidas, 102 herbicidas, 125 fungicidas, ocho fumigantes, 15 rodenticidas, 71 coadyuvantes, un molusquicida, cuatro nematicidas y un protector de semillas, 12 atrayentes y feromonas y dos repelentes (Figura 2) (CICOPLAFEST, 2004).

Los plaguicidas empleados en México son para fines de agricultura, campañas de salud, desinfección de casas, industrias y jardines, siendo la agricultura el mayor consumidor de plaguicidas (insecticidas 37 %, funguicidas 27 % y herbicidas 26 %) (González-Farías, 2003).

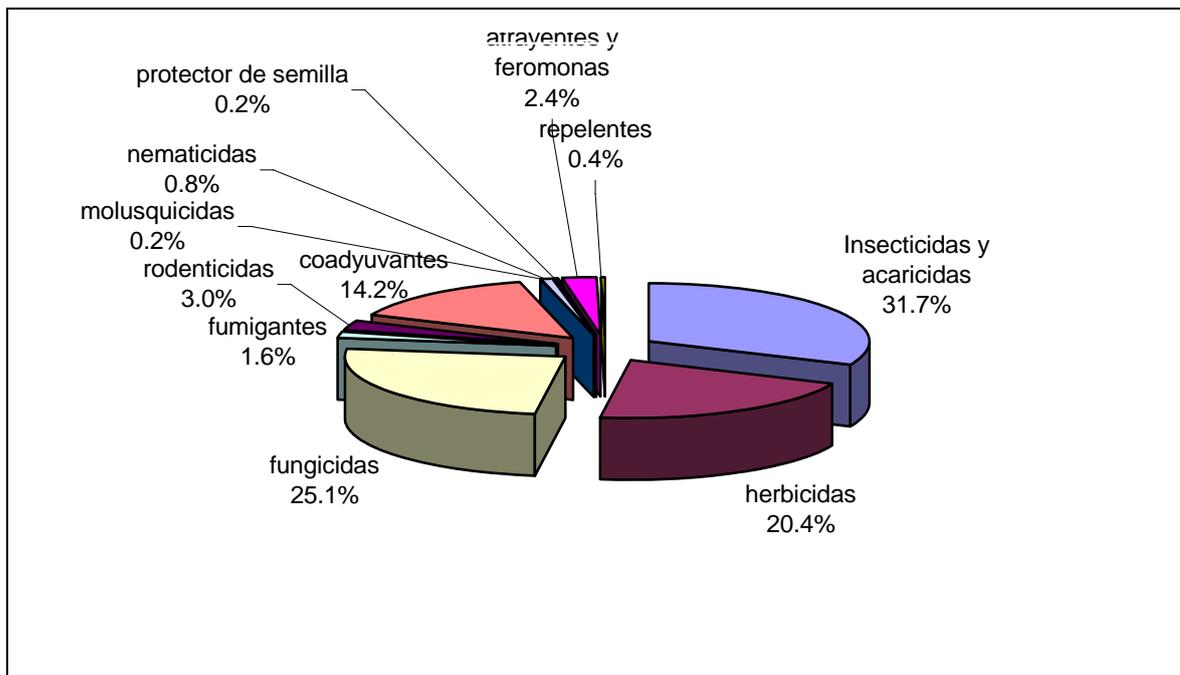


Figura 2. Porcentaje de los diferentes plaguicidas autorizados en México (CICOPLAFEST, 2004).

De los plaguicidas más utilizados a lo largo de la historia en la agricultura y en campañas de salud, el grupo de los organoclorados (OCs) ha sido uno de los de mayor importancia (Rueda, 1997).

Plaguicidas Organoclorados (OCs)

Todos los plaguicidas de este grupo contienen cloro, carbono e hidrógeno y algunos también oxígeno y azufre la mayoría son insecticidas (Rueda, 1997). Los OCs pertenecen al grupo de los contaminantes orgánicos persistentes, conocidos como COPs (POPs, por sus siglas en inglés) (Li *et al.*, 2007; Pandya *et al.*, 2006).

La aplicación intensiva de los OCs en México empezó a mediados de 1940 a 1950 cuando estos compuestos fueron empleados para aumentar la producción de cultivos y satisfacer los requerimientos de calidad para su exportación (González-Farías, 2003).

En la mayoría de los países los OCs ya han sido sustituidos, prohibidos o restringidos, debido a su persistencia en el ambiente y a su capacidad de acumularse en la trama trófica (Alegria *et al.*, 2006; Favari *et al.*, 2002; Leyva-Cardoso, 2003a; Singh *et al.*, 2005a; Waliszewski *et al.*, 2003; Waliszewski *et al.*, 2004a; Waliszewski *et al.*, 2005).

En México los OCs comenzaron a ser prohibidos paulatinamente desde 1982 (aldrín, endrín y mirex), heptacloro y dieldrín en 1992. El uso del DDT, lindano (γ -HCH), metoxicloro, Dicofol y Pentaclorofenol de acuerdo a la CICOPLAFEST, 2004 es restringido, mientras que el endosulfán esta permitido para uso agrícola e industrial.

La Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas (CICOPLAFEST), ha catalogado de la siguiente manera a algunos de los plaguicidas organoclorados (Tabla 1).

Tabla 1. OCs prohibidos, restringidos y autorizados en México.

| Uso agrícola e industrial | Restringidos | Prohibidos |
|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| Endosulfán | DDT | Aldrín |
| | Lindano (γ HCH) | Dioldrín |
| | Metoxicloro | Endrín |
| | Dicofol | Mirex |
| | Pentaclorofenol | Kepone (clordecone) |

Sin embargo en algunos países los OCs aún son empleados principalmente para el control de plagas de cultivos, ectoparásitos de ganado y contra vectores de enfermedades humanas (Waliszewski *et al.*, 2004b).

Es de gran importancia el monitoreo de los OCs ya que en países como México, se pueden encontrar grandes cantidades de residuos por el uso indiscriminado que se les dio en el pasado y podrían seguir afectando la calidad del ambiente y por consiguiente a los organismos, particularmente los que ocupan la parte superior de las cadenas tróficas.

Los OCs se encuentran ampliamente dispersos en ambientes acuáticos y terrestres, presentan gran persistencia en el ambiente, debido a que se descomponen muy lentamente, lo que favorece su bioacumulación y biomagnificación a través de la cadena trófica (Figura 3). Además de que son fácilmente transportados debido a la combinación de sus propiedades fisicoquímicas tales como: baja solubilidad en agua, presión de vapor y elevado coeficiente de partición octanol-agua (Albert y Loera, 2005; Alejandre, 2007).

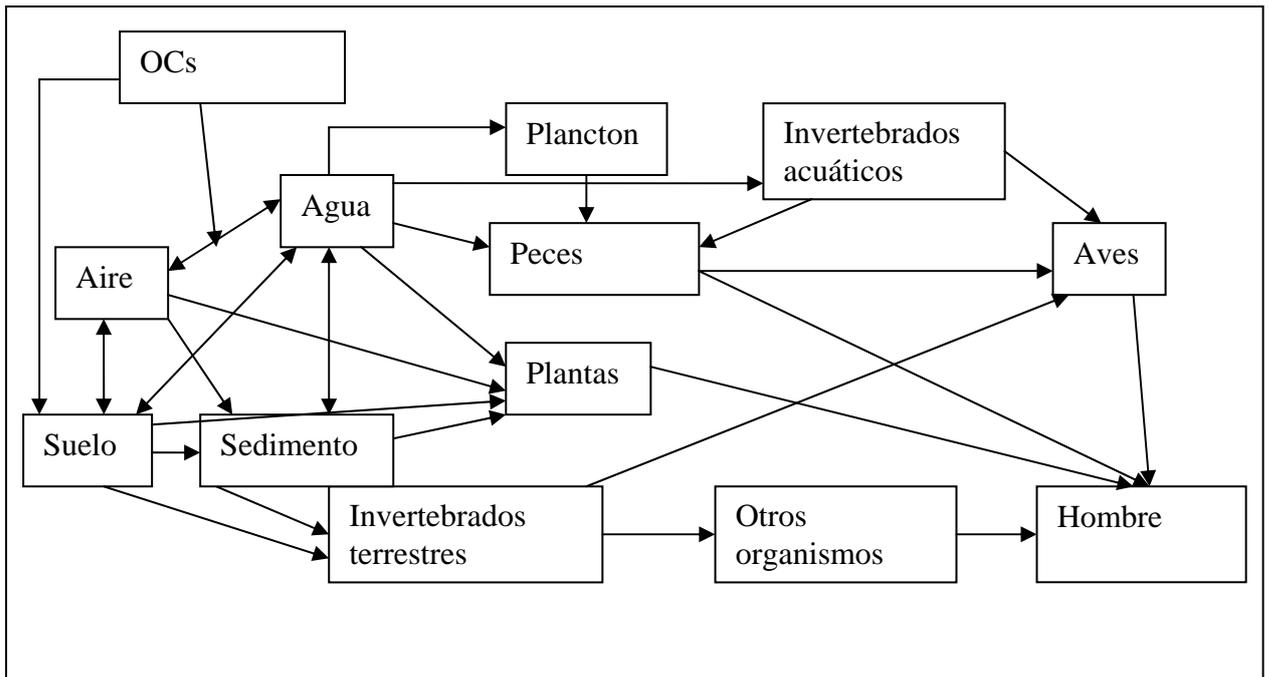


Figura 3. Movilidad de los OCs en la trama trófica. (Tomado de Alejandre, 2007).

Las descargas urbanas, agrícolas e industriales, tanto continuas como ocasionales, son fuentes de plaguicidas para la zona costera. Sin embargo, las actividades agrícolas y las campañas de salud son los principales aportadores de estos compuestos debido a la amplitud de sus usos y al manejo de grandes volúmenes (Albert y Benítez, 2005; Leyva-Cardoso, 2003a).

Características generales de los OCs:

- Insolubles en disolventes polares
- Solubles en disolventes de baja polaridad
- Muy estables química y bioquímicamente
- Vida media en el ambiente superior a 10 años
- Toxicidad de amplio espectro
- Solubles en lípidos
- Bioacumulables

Los OCs clasifican en (Albert y Loera, 2005):

- 1) Derivados de hidrocarburos alicíclicos
- 2) Derivados de hidrocarburos aromáticos
- 3) Derivados de hidrocarburos ciclodiénicos
- 4) Derivados del pentaciclodecano

- 5) Derivados de hidrocarburos terpénicos
- 6) Hexaclorobenceno (HCB)

Las características fisicoquímicas de cada compuesto se muestran en el Anexo.

1) OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos

El principal representante de este grupo es el hexaclorociclohexano o HCH, el cual se obtiene mediante un proceso de cloración del benceno es una mezcla de isómeros distintos (α , β , γ , δ , ϵ , ζ , η y θ) que difieren entre sí por las posiciones axiales y ecuatoriales de los átomos de cloro (Figura 4). El isómero γ conocido como lindano, es el único que exhibe fuertes propiedades insecticidas (Leyva-Cardoso, 2003b; Rueda, 1997; Walker *et al.*, 1999).

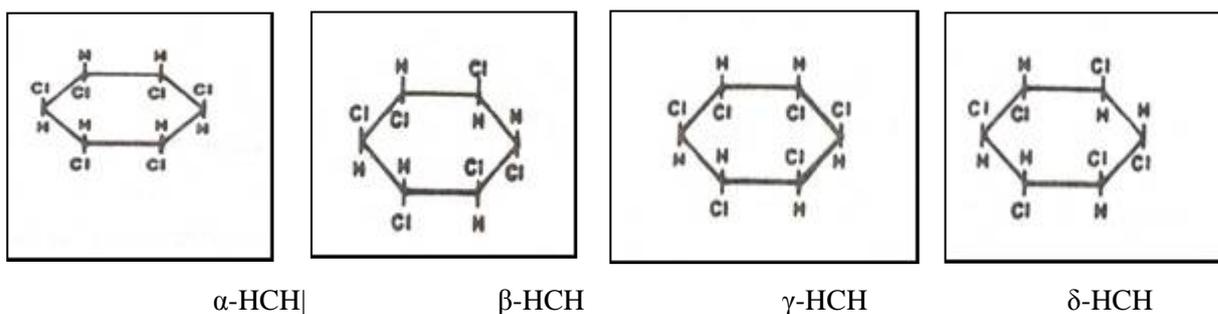


Figura 4. Estructura química de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos.

2) OCs derivados de hidrocarburos aromáticos

El compuesto más conocido y sobresaliente de este grupo es el dicloro-difenil-tricloroetano o DDT. Los productos de degradación del DDT son el dicloro-difenil-dicloroetano (DDD) y dicloro-difenil-dicloroetileno (DDE) (Figura 5). Otros derivados de hidrocarburos aromáticos son el dicofol y metoxicloro.

El DDT en condiciones de biotransformación en la mayoría de los organismos se convierte en p,p'-DDE, el cual es más soluble en lípidos y es menos tóxico que el DDT (Thomas, 1995). Sin embargo a principios de 1970 se descubrió que el p,p'-DDE era el agente responsable del adelgazamiento de los cascarones en un gran número de aves. El DDE carece de propiedades insecticidas, pero es aún más estable y persistente que el DDT. Este plaguicida fue preparado por Zeider (1874) pero sus poderosas propiedades

insecticidas se descubrieron hasta 1939 por Müller, siendo introducido al mercado hasta 1942 (Leyva-Cardoso, 2003b; Rueda, 1997).

Islam y Tanaka, (2004) mencionan que Duursma y Marchand (1974) reportaron un estimado de la producción mundial hasta esa fecha de DDT era de 2.8×10^6 toneladas, de las cuales el 25% (7×10^5 toneladas) se asume que fueron liberadas a los océanos.

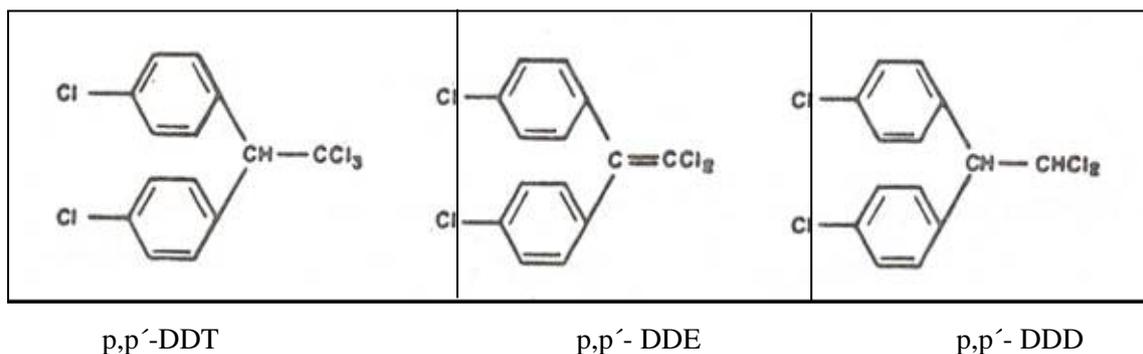


Figura 5. Estructura química de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos.

El DDT fue ampliamente utilizado en Estados Unidos para el control de insectos, siendo la mayor producción a principios de 1960, hasta su prohibición por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en 1972. Durante 1980 y 1990 la mayoría de los países prohibieron el uso del DDT en la agricultura (Snedeker, 2001).

3) OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos

Su estructura química consiste en un anillo cíclico con doble enlace y puente metilénico, el cual puede estar unido o no a otro anillo u otros grupos. Los compuestos de este grupo fueron preparados a partir del hexacloropentadieno por la reacción Diels-Alder o ciclodiénica.

Los OCs del grupo de los derivados de hidrocarburos ciclodiénicos están representados por: aldrín, dieldrín, endrín, heptacloro, epóxido de heptacloro, α -endosulfán, β -endosulfán, sulfato de endosulfán, clordecona y clordano.

El aldrín de grado técnico en presencia de peróxidos en el ambiente y en los organismos, se oxida para transformarse en su epóxido conocido como dieldrín. El dieldrín posee propiedades fisicoquímicas similares a las del aldrín, pero es de mayor

toxicidad y persistencia (Figura 6). El endrín es el insecticida de mayor toxicidad aguda. El aldrín, dieldrín y endrín son altamente lipofílicos y persistentes en el medio pero tienen una acción sistémica menor que el DDT (Leyva-Cardoso, 2003b; Rueda, 1997).

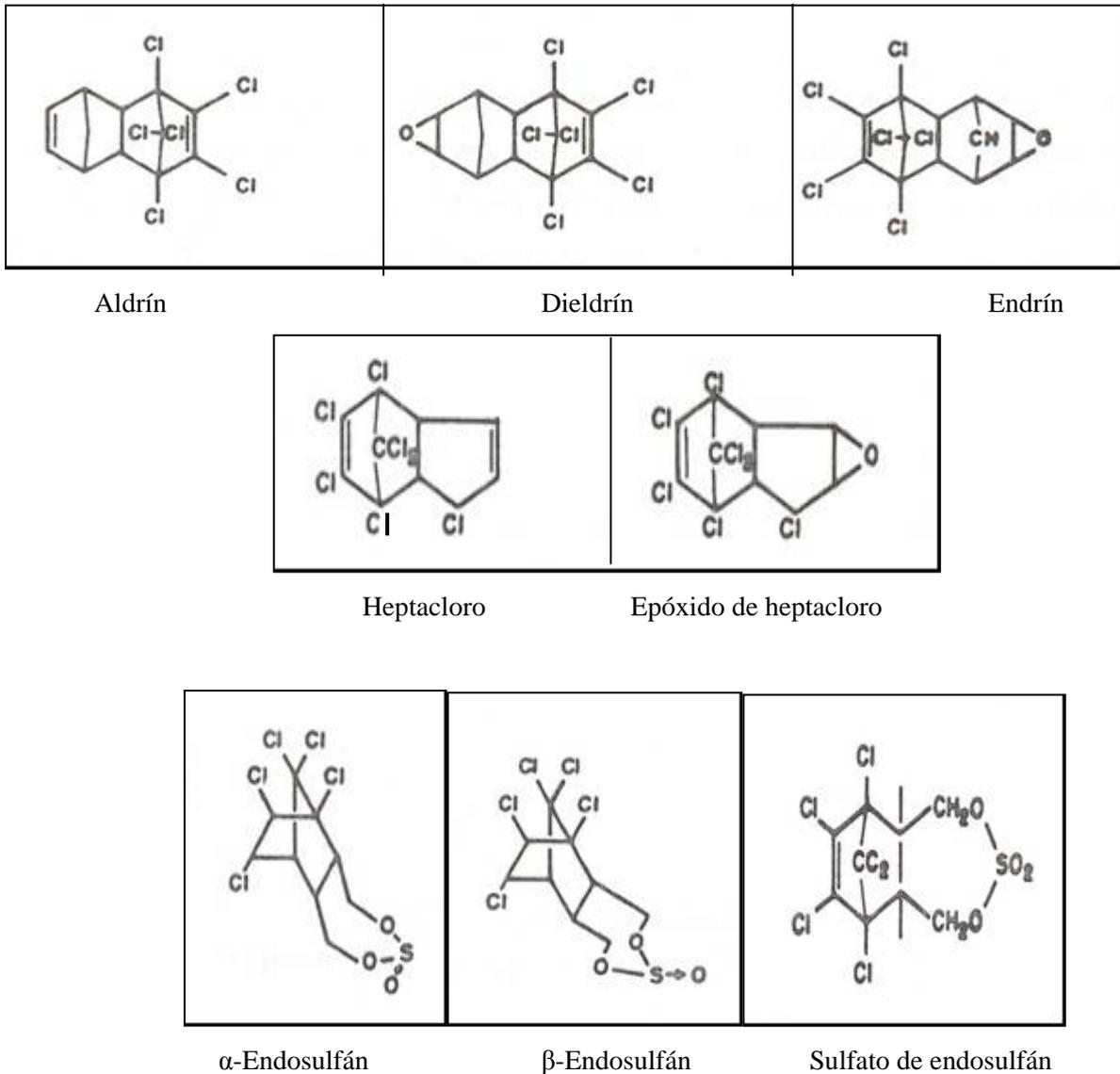


Figura 6. Estructura química de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos.

4) OCs derivados del pentaciclodecano

El declorane (mirex) y clordecona (Kepone) (Figura 7) derivan del pentaciclodecano, que tiene una estructura en forma de caja conformada por diez carbonos. En el primer caso todos están unidos exclusivamente a átomos de cloro, 12 en total y en el clordecona un átomo de carbono está unido a uno de oxígeno por lo que sólo cuenta con 10 átomos de cloro (Leyva-Cardoso, 2003b).

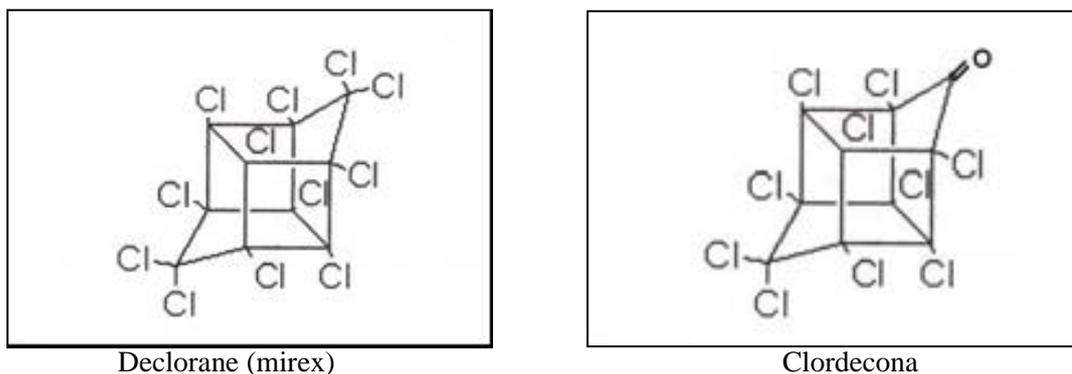


Figura 7. Estructura química de los OCs derivados del pentaciclodecano.

5) Derivados de hidrocarburos terpénicos

El más conocido es el toxafeno (Figura 8) que resulta de la cloración directa del canfeno y es una mezcla de diversos hidrocarburos, con ningún átomo de cloro hasta 11 átomos de cloro cada uno de ellos puede presentar varias isomerías (Leyva-Cardoso, 2003b).

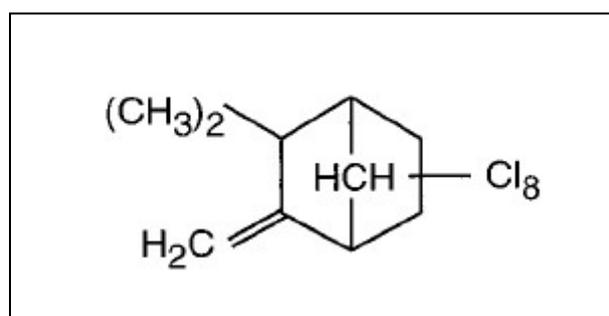


Figura 8. Estructura química del toxafeno.

6) Hexaclorobenceno

El hexaclorobenceno (HCB) (Figura 9) se obtiene a partir de la halogenación de bencenos poco clorados comúnmente éste se confunde con el hexaclorociclohexano (HCH) ya que este último es denominado por los países anglosajones como “benzene hexachloride”. El HCB es un fungicida (Leyva-Cardoso, 2003b).

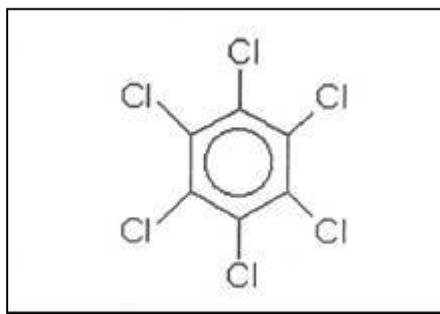


Figura 9. Estructura química del hexaclorobenceno.

Dispersión de OCs al ambiente

La mayoría de los plaguicidas son utilizados en la agricultura, se aplican en forma líquida y pueden volatilizarse en el aire, escurrirse mediante agua superficial o filtrarse hacia el agua subterránea. La pérdida por escurrimiento de plaguicidas aplicados superficialmente sobre el suelo es de aproximadamente 2% y raramente excede del 10% del total aplicado (Van der Werf, 1996).

El comportamiento de los OCs en el ambiente está determinado por los siguientes procesos:

Degradación química. Usualmente ésta se incrementa con la temperatura y el contenido de agua del suelo (Van der Werf, 1996).

Degradación biológica. Microorganismos incluyendo bacterias, hongos y algas son los principales responsables de esta degradación. Pueden ocurrir tres tipos de transformación: biodegradación, cometabolismo y bioacumulación (Müller *et al.*, 20007).

Adsorción y unión a componentes orgánicos y minerales del suelo. Siendo la materia orgánica la principal responsable de la adsorción de los plaguicidas insolubles en agua (Van der Werf, 1996).

Absorción por medio de las plantas. Éstas son fuentes de bioacumulación a lo largo de la trama trófica (Van der Werf, 1996).

Volatilización. Es la mayor causa de transporte de plaguicidas, lo cual depende de la proporción entre la presión de vapor de los compuestos y la solubilidad en el agua (Ley de Henry, K_H) así, los compuestos con K_H mayor que 2.5×10^{-5} son más volátiles y compuestos con K_H menor que 2.5×10^{-5} son menos volátiles. Durante la aplicación de plaguicidas, alrededor de 30-50% de la cantidad aplicada puede volatilizarse lo que provoca la liberación de una enorme fracción de compuestos que se van a la atmósfera y son transportados a otros sitios (Gil y Sinfort, 2005; Van der Werf, 1996).

Efectos por flujo de agua. El agua dispersa los plaguicidas en el ambiente mediante el lavado foliar, escurrimiento y filtración, contaminando sitios alejados al lugar de la aplicación y los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos (Van der Werf, 1996).

OCs en la zona costera

Los OCs empleados en campañas de salud y en zonas agrícolas llegan al ambiente costero a través de drenes, escurrimientos, ríos o por transporte atmosférico. Los OCs pueden ser movilizados a través de procesos de solubilización, adsorción, bioacumulación, volatilización o transportados en asociación con materia particulada suspendida, debido a su baja solubilidad. Los OCs también pueden ser directamente aplicados a la zona costera para el control de larvas, algas y malezas acuáticas (Albert y Benítez, 2005; Rueda, 1997).

En el ambiente costero, los OCs pueden ser transformados en compuestos de estructura diferente que no siempre son menos tóxicos, ni menos estables esto puede ocurrir por altas temperaturas, luz, lluvia, degradación química, degradación biótica, bioturbación, erosión eólica o por eventos de inundación, actividades humanas tales como el dragado o recolocación de sedimentos dichas actividades pueden transferir sedimentos contaminados con OCs a la columna de agua (Hilscherova *et al.*, 2007; Sanpera *et al.*, 2002). Los sedimentos tienden a acumular y servir de reservorio a los OCs, lo cual

depende del origen e intervalo del tamaño de partículas y mineralogía del sedimento, contenido y origen de materia orgánica, así como del tipo de flora y fauna presente (Edgar *et al.*, 2003; Hilscherova *et al.*, 2007; Parikh *et al.*, 2004).

En el agua y sedimento, los OCs al estar disueltos o adsorbidos a materia particulada pueden introducirse a los organismos a través de: opérculos, piel y oralmente con el alimento. De esta manera son adsorbidos y distribuidos en varios órganos del cuerpo siendo biotransformados, bioacumulados y/o parcialmente excretados. Mediante los mecanismos de excreción o por la muerte, los OCs se incorporan nuevamente a los sedimentos de donde pueden ser resuspendidos por los movimientos de la columna de agua (Albert y Benítez, 2005) (Figura 10).

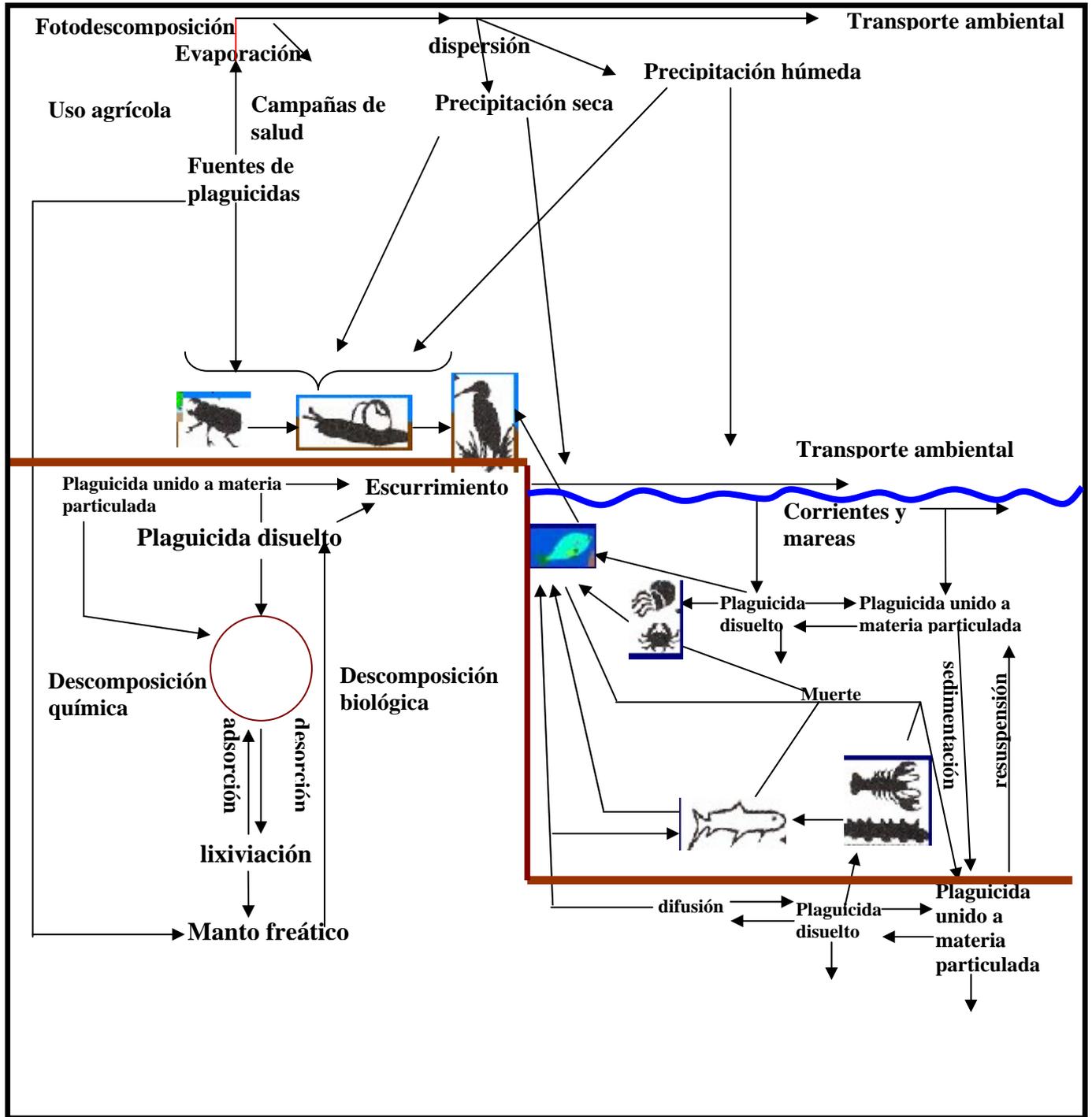


Figura 10. Mecanismos de degradación y transporte de los plaguicidas en la zona costera.
(Tomado de Albert y Benitez, 2005).

Efectos biológicos de los OCs

El riesgo de muerte o la magnitud de los efectos subletales de los OCs a la biota están determinados por el grado de: dispersión, concentración, tipo de toxicidad (aguda o

crónica) dependiendo de la intensidad, frecuencia y duración de la exposición, así como del estadio del ciclo reproductivo, estado reproductivo, edad, tamaño, estado nutricional o enfermedades de los organismos (Albert y Benítez, 2005; Van der Werf, 1996).

Los OCs ocasionan efectos adversos en todos los niveles tróficos; inhiben la actividad bacteriana y por lo tanto ocasionan una disminución en la transformación del carbono, alteran las poblaciones bentónicas, reducen la tasa fotosintética del fitoplancton y disminuyen poblaciones zooplanctónicas, en peces causan ulceraciones dérmicas, lesiones renales, modificaciones conductuales, mutagénesis, teratogénesis, diversos efectos en el sistema metabólico, disminución de acetilcolinesterasa, dificultad para reproducirse debido a la inhibición del almacenamiento de reservas asociadas con procesos de reproducción, activación de hormonas, cambios en hábitos alimenticios, modificación de la temperatura y disminución de su tolerancia térmica (Espina y Vanegas, 2005; Rueda, 1997; Sarkar *et al.*, 2007). De acuerdo a Espina y Vanegas (2005) en crustáceos reducen la capacidad osmoreguladora. En moluscos interfieren en procesos de alimentación. En aves y mamíferos ejercen una acción competitiva al unirse a los receptores celulares de estrógenos; en estudios con ratones se ha observado que actúan como promotores de crecimiento de tumores e inhiben la comunicación intercelular; en humanos causan: hipertensión, dolor abdominal, diarrea, enfermedades respiratorias, disfunciones del sistema reproductivo, daño pre/postnatal, mutagénesis, daños al sistema nervioso central, incrementan el riesgo de cáncer de mama, leucemia y cáncer pancreático. (Rivero-Rodríguez *et al.*, 1997; Singh *et al.*, 2005a). Los OCs son disruptores endócrinos, lo cuál significa que son sustancias exógenas que causan efectos adversos en los organismos o en su progenie ya que inducen mutaciones en el ácido Desoxirribonucleico (DNA). La disrupción endocrina es un mecanismo de toxicidad que causan alteraciones hormonales de las células, tejidos y órganos ocasionando: reducción de fertilidad y fecundidad, abortos espontáneos, anormalidades en el tracto reproductivo masculino y femenino, pubertad precoz, ovarios poliquísticos, cambios de conducta y cáncer. Los OCs reprimen las respuestas hormonales e inmunes de los organismos afectando varios mecanismos tales como activación de genes, inducción de enzimas, alteraciones metabólicas, de macrófagos, de neurotransmisores y del sistema inmunológico; disminución de síntesis de glicógeno lo cuál se relaciona con un efecto inhibitorio de procesos bioquímicos relacionados con la síntesis y/o consumo de carbohidratos (Banerjee, 1999; Galindo *et al.*, 1996b).

En la tabla 2 se muestran algunos efectos de los OCs en mamíferos y su modo de acción (Kawai *et al.*, 2003; McKinlay *et al.*, 2008; Borrell *et al.*, 1999).

Tabla 2. Efectos y modo de acción de los OCs

| | Uso | Efectos en | Mecanismo |
|-----|-------------|------------------------------------|---|
| OCs | Insecticida | Androgenos, estrógenos, prolactina | Inhibidor competitivo de receptores de androgenos. Algunos inducen la producción de aromatasas, una enzima que convierte androgenos a estrógenos. |
| | | Retinoides | Disminución de vitamina A |

Los OCs tienden a depositarse y concentrarse en tejido graso, bioacumulándose y ocasionando su biomagnificación (Albert y Loera, 2005; Verma y Rastogi, 1990). La bioacumulación es el proceso que causa un aumento en la concentración del contaminante en un organismo, comparado con la concentración en el ambiente. La bioacumulación y biomagnificación de los OCs son causadas por adsorción, absorción e ingestión, permaneciendo en tejidos adiposos. Cuando los OCs están almacenados en el tejido adiposo, suelen ser inactivos, pero en las épocas de estrés, los depósitos de grasa se movilizan liberando los OCs al torrente sanguíneo con la posibilidad de producir los efectos tóxicos antes mencionados y pueden provocar la muerte (Albert y Loera, 2005; González-Farias, 2003; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1997; Rueda, 1997; Rivero-Rodríguez *et al.*, 1997; Waliszewski *et al.*, 2004a; Waliszewski *et al.*, 2005).

Las lagunas costeras subtropicales del Pacífico mexicano son de los ecosistemas más productivos principalmente por la pesquería que se lleva a cabo, siendo Sinaloa una de las áreas agrícolas más importantes del país (Robledo-Marenco *et al.*, 2006; Galindo *et al.*, 1999b) en donde el incremento de los desechos como los OCs han provocado contaminación poniendo en riesgo la ecología y biodiversidad de estas áreas.

3. ANTECEDENTES

Sinaloa, se localiza al sureste del Golfo de California, posee 16 lagunas costeras que abarcan 138,300 ha, siendo un estado cuyas principales actividades son la agricultura y la pesca. Las prácticas agrícolas son intensivas, soportadas por 11 ríos y drenes estos últimos, son descargados sin tratamiento en las lagunas costeras, además de los desechos industriales y municipales (Orduña-Rojas y Longoria-Espinoza, 2006). Sinaloa cuenta con una superficie agrícola de 1'469,443 ha, que representan el 25% de la superficie del estado. En las zonas de riego, se establecen cultivos de granos y hortalizas principalmente durante el ciclo otoño-invierno. Este último comprende siembras realizadas desde el 15 de agosto hasta el último día de enero del siguiente año. En primavera-verano, las siembras van del primero de febrero al 15 de agosto (INIFAP, 2003). Los principales cultivos son: papa, frijol, arroz, maíz, garbanzo, cártamo, trigo, sorgo y hortalizas (CAADES).

En la Tabla 3 se muestran los valores de precipitación, temperatura máxima, media y mínima del estado de Sinaloa, durante los meses de junio y agosto del 2006 y marzo del 2007, meses en los cuales se realizaron los muestreos (Servicio Meteorológico Nacional, 2008).

Tabla 3. Valores de precipitación y temperatura para el estado de Sinaloa.

| | Precipitación (mm) | Temperatura máxima °C | Temperatura media °C | Temperatura mínima °C |
|-------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Junio 2006 | 39.3 | 38.6 | 31.1 | 23.9 |
| Agosto 2006 | 249.1 | 35.5 | 29.5 | 23.4 |
| Marzo 2006 | 0.1 | 32.4 | 22.1 | 11.8 |

La planicie costera de Sonora y Sinaloa es ancha, y las pendientes son relativamente bajas en general, las descargas hacia el mar de la red fluvial están controladas por la ocurrencia ocasional de tormentas o lluvias fuertes y por intervención humana, principalmente debido a la construcción de presas y el uso de los ríos para propósitos de irrigación, lo que puede reducir el transporte de sedimentos, materia orgánica, nutrientes y organismos hacia la costa (Kasper-Zubillaga *et al.*, 2007).

Del total de la superficie agrícola del estado, 804,563 ha son de riego y se desarrolla una agricultura tecnificada con el uso de gran cantidad de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas) sin embargo, pocos trabajos referentes a residuos de plaguicidas se han realizado en sus lagunas costeras a pesar de su gran importancia ecológica, económica y social (Carvalho *et al.*, 1996; Carvalho *et al.*, 2002; Galindo *et al.*, 1996a; Galindo *et al.*, 1999a; Galindo *et al.*, 1999b; González Farias *et al.*, 2002; González-Farias 2006; Rosales *et al.*, 1985; Osuna- Flores y Riva, 2002).

4. HIPÓTESIS

Ya que el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, se encuentra aledaño a zonas agrícolas y recibe efluentes no tratados provenientes del Distrito de Riego (D.R.) 063 y del municipio de Guasave, probablemente presenta contaminación por OCs en agua y principalmente en sedimentos.

Al realizar el estudio en tres diferentes épocas (estiaje cálido, lluvias y estiaje frío) se espera que haya una mayor presencia de OCs en la época de lluvias debido al lavado de las tierras de cultivo. Y que la mayores concentraciones de OCs se registren en los drenes debido a su cercanía con los campos de cultivo y a que conducen las descargas agrícolas del (D.R) 063 hacia la laguna.

5. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los niveles y la distribución espacio-temporal de los OCs en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificar los principales OCs y sus metabolitos presentes en agua y sedimento y determinar su concentración.
- Cuantificar el contenido de carbono orgánico total en los sedimentos del sistema lagunar.
- Determinar el tipo de sedimento en los sitios de muestreo.
- Establecer si existe relación entre la concentración de OCs, el contenido de carbono orgánico total y el tipo de sedimento presente en el sistema lagunar.
- Comparar los valores de OCs en el sistema con guías internacionales de calidad de agua y sedimento.

6. ÁREA DE ESTUDIO

El sistema lagunar de Navachiste-Macapule pertenece a la cuenca Lechuguilla-Ohuira-Navachiste que se localiza al norte del estado de Sinaloa entre los 25° 45' y 26° 12' N y los 108° 28' y 109° 21' W. La cuenca tiene una extensión de más de 4,000 km², con una pendiente general baja. Dentro de los límites de la cuenca se localizan los municipios de Ahome y Guasave (Berlanga Robles *et al.*, 2008).

De acuerdo a la clasificación de Lankford (1977) este sistema lagunar Navachiste-Macapule es del tipo III-A (Barrera de Gilbert Beaumont) y posee las siguientes características: plataforma de barrera interna, con depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, al que rodean superficies terrígenas en sus márgenes internos y al que protegen del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del agua actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación paralelos a la costa, batimétricamente son típicamente muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se localiza sedimentación terrígena “laguna costera típica”, aparece a lo largo de planicies costeras de bajo relieve con energía de intermedia a alta. Con barreras arenosas externas, ocasionalmente múltiples; escurrimiento ausente o muy localizado; forma y batimetría modificadas por la acción de las mareas, oleajes producidos por tormenta, arena traída por viento y presencia de corrientes locales que tienden a segmentar las lagunas; salinidad variable, según las zonas climáticas (Vergara-Méndez, 1993).

Navachiste-Macapule es un sistema lagunar que se encuentra entre los paralelos 25° 21' y 25° 35' N y 108° 40' y 109° 00' W (Figura 11). Pertenece al municipio de Guasave, en donde la agricultura en el D.R 063 es la principal actividad económica, seguida por la pesca y la acuicultura, siendo el único municipio estatal que no cuenta con superficie agrícola de temporal, toda es de riego (Hernández *et al.* 2005; Orduña-Rojas y Longoria-Espinoza, 2006; Gobierno de Sinaloa, 2001).

El sistema Navachiste se encuentra semicerrado por la Isla de San Ignacio; al oeste se comunica con la bahía San Ignacio, al sur con el Golfo de California y al sureste con el sistema Macapule.

El sistema lagunar Navachiste-Macapule abarca 24,000 ha constituido por Navachiste con 21,400 ha y Macapule con 2,600 ha y tiene conexión permanente con el Golfo de California a través de dos bocas denominadas Ajoro (norte) y Vasiquilla (sur) con un ancho de 2 Km con una profundidad 7m y 1.5 Km de ancho, con una profundidad de 10 m respectivamente. La boca Vasiquilla (sur) esta dividido en dos por una isla arenosa denominada Vinorama, formada por la influencia de corrientes litorales y corrientes de marea (Vergara-Méndez, 1993).

La conexión permanente con el Golfo de California crea un ambiente marino la mayor parte del año, ya que el intercambio de agua con el Golfo de California es considerable, debido a que la proporción de intercambio de agua y las velocidades de flujo y reflujo de las mareas están en relación al tamaño, la forma, el número y la amplitud de las bocas que a mayor velocidad de las corrientes, los canales tienden a ser más profundos y a incrementar la amplitud de las bocas, favoreciendo la migración o la erosión de los canales naturales de marea. La profundidad media del sistema es de 4 m y el fondo es sensiblemente plano. Posee una barrera arenosa de 23 km. de largo denominada Isla San Ignacio. En el sistema destacan las islas Macapule, Nescoco, Tesobiare y Vinorama, así como varios islotes (Vergara-Méndez, 1993) (Figura 11). Desde el punto de vista fisiográfico se diferencian las siguientes unidades:

La isla Macapule que está constituida por un cordón de dunas activas y un cordón de dunas estabilizadas por vegetación pionera hacia el extremo oriental se encuentra una llanura de inundación de mareas, constituida por sedimentos limo-arcillosos en los que se aprecian algunos manglares en los canales de las llanuras.

El borde interior de Macapule está formado por una llanura de inundación de intermareas con un patrón de canales bien definidos.

El estero El Colorado constituido por sedimentos finos de tipo limo-arcilloso con su llanura de inundación bien desarrollada.

La isla Vinorama está constituida por un cordón de dunas de arena eólica y las formas terminales de gancho son debidas a las corrientes de marea de entrada y salida del agua. La parte interior está formada por una llanura de intermareas debido a la acumulación de sedimentos finos, en zonas de poca energía cinética hacia el interior del sistema Navachiste.

Hacia la parte norte cerca del poblado El Cabezón se localiza una gran llanura de inundación fluvial caracterizada por sedimento areno-limoso presenta también canales de intermarea y en algunas se presentan zonas de evaporación.

La isla San Ignacio, consta de una playa activa que da al Golfo de California, un cordón de dunas activas y antiguos cordones de playa que evidencian el carácter progradante de la región y de la isla en particular. Hacia ambos extremos de la isla se pueden observar barras subaéreas tipo gancho las cuales también indican el sentido progradante de los sedimentos (Vergara-Méndez, 1993).

Los esteros más importantes son: Barbaza, Algodones, El Coloradito, El Caracol, El Cuchillo y El Tortugo (SAGARPA, 2004; H. Ayuntamiento de Guasave, 2007; Vergara-Méndez, 1993).

La vegetación que rodea al sistema en la parte norte es escasa, debido a que es un terreno rocoso y de lluvia escasa, la mayoría de la vegetación en esta parte son arbustos y cactáceas. Existen comunidades de manglar en la parte sureste del sistema, siendo las especies dominantes: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), seguido por *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo) (Hernández *et al.*, 2005).

El clima es BW(h') que corresponde a muy seco cálido y cálido (INEGI, 2000). La zona está expuesta a dos regímenes de precipitación: las lluvias de verano y las de invierno; las primeras son producidas por la temporada normal de lluvias y eventos hidroclimatológicos extremos. La época de lluvia va de julio a septiembre, este tipo de lluvias suelen ser intensas y de corta duración, generando fuertes avenidas. La segunda etapa lluviosa es producto de los frentes fríos durante los meses de diciembre a febrero, la época de secas es de marzo a mayo (CNA, 2002). Los vientos predominantes son en dirección suroeste y llegan a alcanzar velocidades de hasta 2 ms⁻¹ (H. Ayuntamiento de Guasave, 2007).

El tipo de suelo en el área de estudio es Solonchak y Vertisol (Figura 12).

Los suelos tipo Solonchak órtico con clase textural media (Zo/2) son suelos alcalinos con alto contenido de sales en alguna capa a menos de 125 cm de profundidad. El órtico tiene una capa

superficial clara, pobre en materia orgánica y nutrientes (Diccionario de datos edafológicos, 1998; INEGI, 2000).

Los suelos tipo Vertisol crómico con clase textural fina (Vc/3) son suelos muy arcillosos en cualquier capa a menos de 50 cm de profundidad, son adecuados para una gran variedad de cultivos (Aguilera, 1989; Diccionario de datos edafológicos, 1998; INEGI, 2000).

En esta parte del Golfo de California el régimen de marea es mixta, predominantemente semidiurna (el nivel del mar sube y baja dos veces al día). La marea es generada en forma primordial por cooscilación con la marea del Pacífico y la amplitud de marea es micromareal (0-6m) (De la Lanza, 2001; Morales-Pérez y Gutiérrez de Velasco, 1989).

Las principales afluentes que llegan al sistema son: drenaje agrícola del D.R 063, parte de los desechos municipales de Guasave (300,000 habitantes) y drenaje de granjas camaronícolas. No hay aportes por ríos (Hernández *et al.*, 2005; INEGI 2000; Orduña-Rojas y Longoria-Espinoza, 2006; CNA, 2002).

El D.R. 063 se localiza en los municipios de Guasave y Sinaloa de Leyva las principales fuentes de abastecimiento de agua de dicho distrito son:

- La presa Gustavo Díaz Ordaz, que se localiza en el río Sinaloa, aguas abajo de la presa se encuentra la derivadora Sinaloa Leyva, donde nacen los canales Bamoa y Sinaloa.
- La presa Ing. Guillermo Blake Aguilar, que se localiza en el arroyo Ocoroni, aguas debajo de esta presa se ubica la derivadora Santa Marta (CNA, 2007).

La principal fuente de suministro para el riego agrícola, lo constituye el agua superficial y solo cuando se registran bajos almacenamientos en las presas por efectos de sequías se utiliza con mayor intensidad el agua subterránea del acuífero río Sinaloa para cubrir en parte el déficit de agua para riego. El D.R. 063 ocupa el margen izquierdo del acuífero del río Sinaloa el cuál limita al sur con la bahía playa Colorada y al occidente con la bahía Navachiste y el océano Pacífico (CNA, 2002).

El D.R. 063 tiene una superficie física de 116,615 ha y una superficie regable de 107,036 ha, que son usufructuadas por 1,823 pequeños propietarios y por 14,056 ejidatarios (CNA, 2007).

En encuestas realizadas en campo con usuarios de este distrito se definió que los principales cultivos de otoño-invierno son el maíz, trigo, frijón y garbanzo, los cultivos de primavera-verano son: maíz, sorgo, alfalfa y garbanzo, aplicando fertilizantes nitrogenados y fertilizantes fosforados como fosfato mono-amoniaco. De los plaguicidas empleados los principales son: organofosforados con 49 %, seguidos por piretroides con 36 % y finalmente los OCs con 6% (Cisneros-Estrada y González-Farías, 2007).

Las especies de importancia pesquera que posee el sistema lagunar son: camarón, ostión, almeja, lisa, mojarra, botete, pargo, mero y robalo.

Este sistema es de gran importancia económica y ecológica, en él se realizan actividades de pesquería y acuicultura, específicamente granjas camaronícolas, dando trabajo a 1,850 pescadores (Orduña-Rojas y Longoria-Espinoza, 2006).

Los problemas ambientales que presenta actualmente el sistema de acuerdo a la SAGARPA (2004) son:

- Desarrollo irregular de los diversos sectores productivos que hacen uso del espacio y sus recursos.
- Contaminación de suelos, sedimentos y agua por uso de agroquímicos.
- Disminución en la superficie vegetal por presión urbana y por actividades agrícolas y acuícolas.
- Pesca ilegal de camarón y fauna en general.
- Erosión costera.
- Presión sobre recursos de importancia pesquera.



Figura 11. Toponimia del área de estudio.

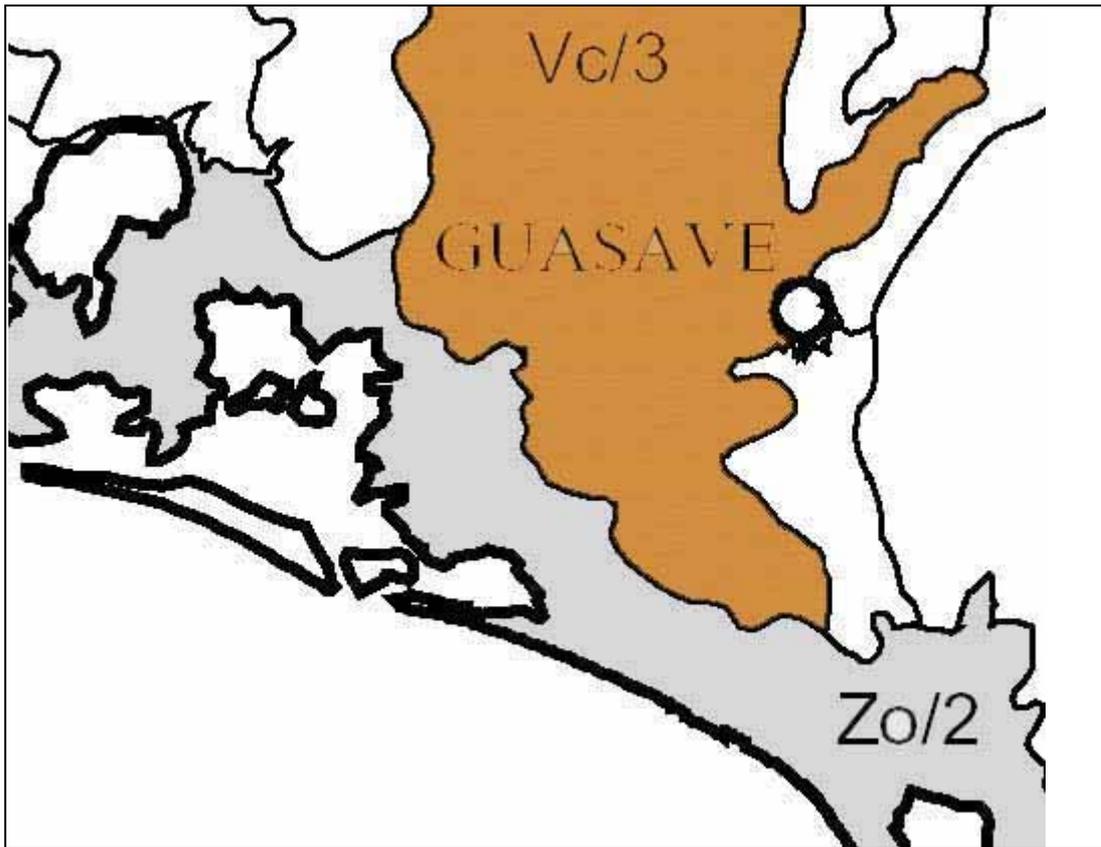


Figura 12. Tipo de suelo en el área de estudio.

7.MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Colecta de muestras

En 15 sitios de muestreo (Figura 13) se colectaron muestras de sedimento y de agua en tres diferentes épocas: estiaje cálido (junio, 2006), lluvias (agosto, 2006) y estiaje frío (marzo 2007), en los cuáles se midió temperatura, pH empleando un equipo multiparamétrico (HORIBA) y salinidad del agua superficial utilizando un refractómetro (American Optical).

Para la extracción y purificación de los OCs en agua y sedimento se utilizó la metodología propuesta por la UNEP/IAEA (1982).

Los OCs y los bifenilos policlorados (BPCs) se asemejan químicamente, ambos se obtienen en el proceso de extracción, por lo que el extracto tiene que someterse a cromatografía de adsorción en columna para la separación de tales componentes con base en su solubilidad y polaridad, de esta manera se puede cuantificar exclusivamente a los OCs y almacenar a los BPCs que no fueron objeto de este estudio.

7.2 Determinación de OCs en agua

Las muestras se colectaron en un recipiente de un litro (previamente lavado, horneado durante 6 horas a 200°C, enjuaguado con acetona y cubierto con papel aluminio), se sumergió aproximadamente 30-50 cm y de manera tangencial se colectó el agua. Se agregaron 100 ml de mezcla éter etílico: n-hexano al 25% (75:25) agitando vigorosamente durante un minuto observándose separación de fases, la fase superior corresponde a los compuestos clorados. Se repitió esta operación con 100 ml de n-hexano, juntándose la fase orgánica de ambas extracciones, los extractos se mantuvieron en un congelador hasta su análisis en laboratorio.

En el laboratorio, las muestras se llevaron a temperatura ambiente, para posteriormente concentrarlas en el rotoevaporador (35 °C/40 libras/pulgadas, velocidad de rotación de 100 rpm). Para realizar la limpieza del extracto se utilizaron columnas de vidrio de 2 cm de diámetro interno x 30 cm de longitud, se empacaron con fibra de vidrio, 13 g de florisil activado a 400° C durante 24 h y desactivado al 1.25 % con agua tridestilada y 0.5 cm de sulfato de sodio anhidro, previamente purificados. Se aplicó el extracto y se eluyó con 60 ml de hexano (obtención de fracción I que corresponde a los BPCs); después se eluyó con 50 ml de hexano:éter etílico (9:1), seguido de 20 ml de hexano:éter etílico (8:2) y se obtuvo la fracción II que corresponde a los OCs. Esta fracción se concentró a 0.5 ml para posteriormente inyectar 1µl en el cromatógrafo de gases (Figura 14).

7.3 Determinación de OCs en sedimento

Para obtener los sedimentos superficiales se utilizó una draga Van Veen y con ayuda de una espátula metálica se tomaron alícuotas del centro de la draga colocándose en frascos de vidrio de 200 ml y congelándose hasta su análisis en laboratorio.

En el laboratorio los sedimentos se descongelaron a temperatura ambiente y se secaron a 35 °C durante 72 horas. Se maceraron en un mortero de porcelana y se tamizaron en un tamiz metálico con luz de malla de 250 µm. Posteriormente se tomó una alícuota de 3 g y se extrajo en equipo Soxhlet con 250 ml de n-hexano por 8 h a temperatura constante de 150 °C, a una velocidad de cuatro a cinco ciclos por hora; se hizo un blanco reactivo por cada nueve muestras. El extracto fue concentrado en un rotoevaporador hasta aproximadamente 5-8 ml, cuidando que la temperatura del baño no excediera los 30 °C la presión de la bomba de vacío fue de 40 libras/pulgadas y la velocidad de rotación de 100 rpm. Para la purificación del extracto se siguió el mismo procedimiento que para los OCs en agua; la fracción (II) de OCs se concentró a 0.5 ml para inyectar 1µl al cromatógrafo de gases (Figura 14).

7.4 Cromatografía de gases

El análisis de los OCs se realizó en un cromatógrafo de gases marca Hewlett Packard modelo 5890 serie II, equipado con detector de captura de electrones (^{63}Ni) y una columna capilar VF5-pesticidas, de sílice fundido de 30 m de longitud x 25 mm de diámetro interno y un recubrimiento de 0.25 μm de fenil metil silicón al 5%. El gas acarreador fue He y como gas auxiliar se empleó mezcla de argón-metano (95% argón, 5% metano) el modo de inyección fue split-splitless.

Las condiciones de trabajo durante el análisis fueron:

Volumen de inyección: 1 μl

Temperatura del inyector: 250 °C

Temperatura del detector: 300 °C

Temperatura Máxima: 350 °C

Se emplearon las siguientes rampas de temperatura:

Temperatura inicial: 110 °C manteniendo durante 1 min

Nivel 1: 20 °C/min hasta 190 °C manteniendo 1 min

Nivel 2: 2.0 °C/min hasta 243 °C manteniendo 1 min

Nivel 3: 30 °C/min hasta 300 °C manteniendo 0 min

Tiempo de análisis: 36.40 min

Para la cuantificación de los analitos se utilizó un estándar externo con base en los tiempos de retención y al área específica de los compuestos; para lo cual se emplearon estándares individuales y una mezcla estándar de 18 compuestos (SUPELCO, clave 48913) con una concentración de fábrica de 2000 $\mu\text{g/ml}$ de cada compuesto en hexano: tolueno (1:1). Como estándar interno se utilizó 2, 4, 5, 6-Tetracloro-m-xileno (SUPELCO, clave 48317) a una concentración de 100 ppb. En la Figura 15 se muestra el cromatograma de los 18 compuestos más el estándar interno [100 ppb]. En la Tabla 4 se observa el área y el tiempo de retención de cada compuesto.

La mezcla estándar contenía los siguientes compuestos:

α -HCH, β -HCH, γ -HCH (lindano), δ -HCH

4,4 DDD, 4,4 DDE, 4,4'-DDT, metoxicloro

α -endosulfán, β -endosulfán, endosulfán sulfato

aldrín, endrín, dieldrín, endrín aldehído, endrín cetona

heptacloro, heptacloro epóxido



Figura 13. Sitios de muestreo en el sistema Lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México

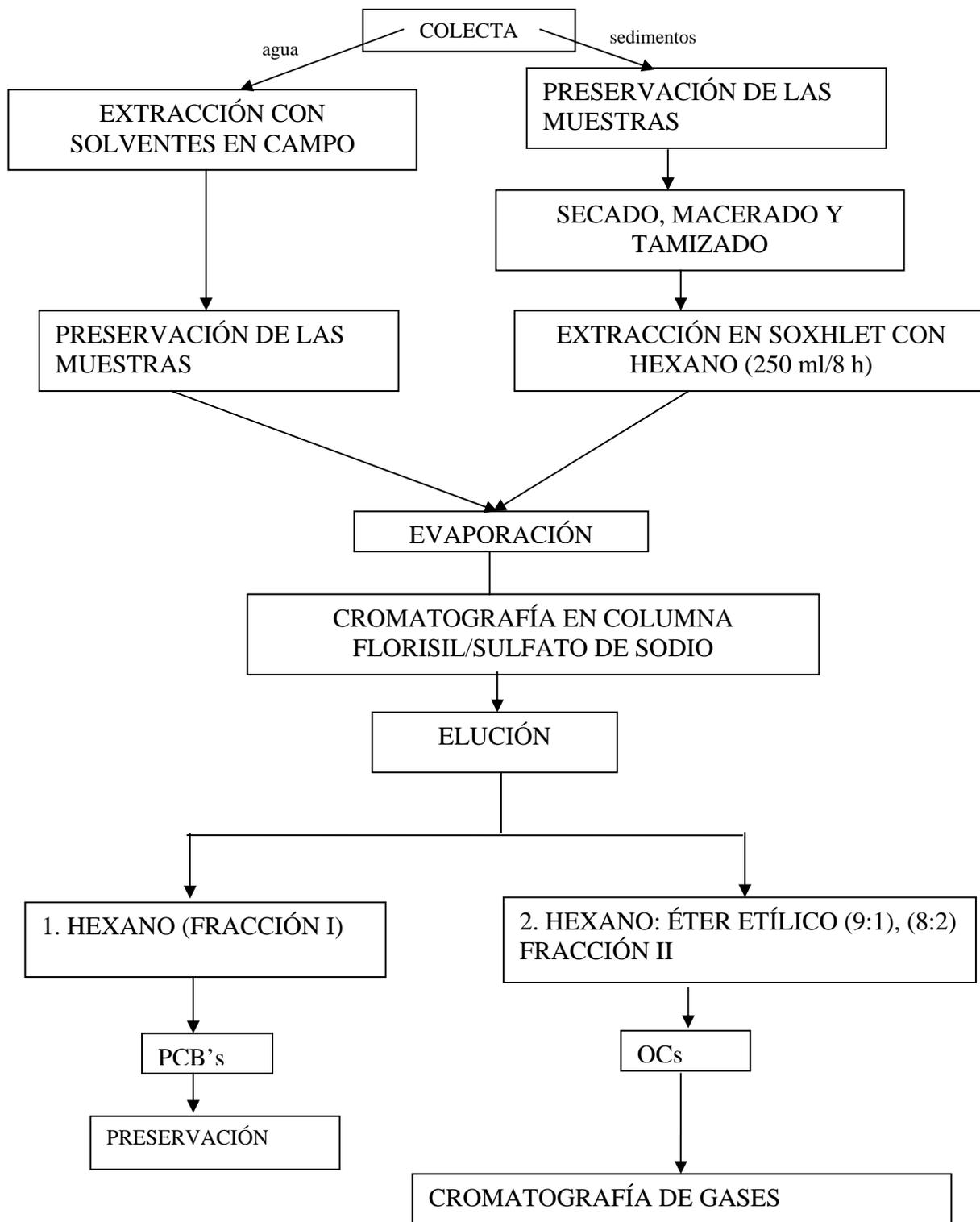


Figura 14. Técnica de análisis de OCs en agua y sedimentos.

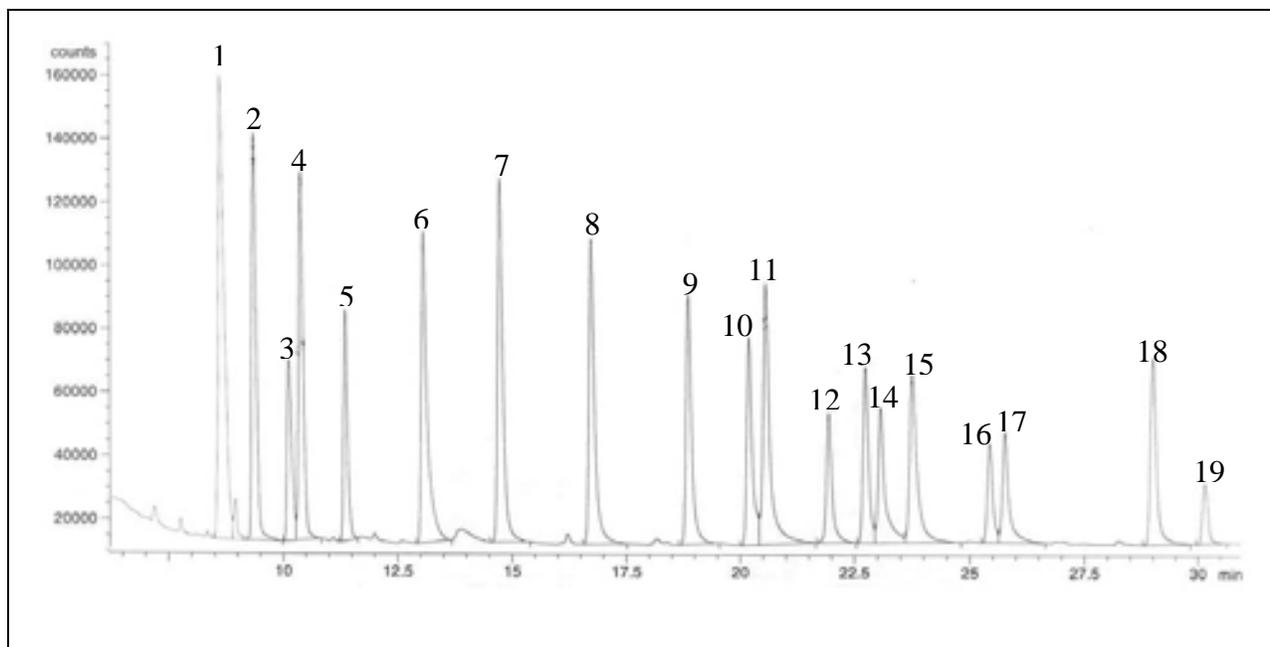


Figura 15. Cromatograma de estándar externo de OCs y estándar interno

Tabla 4. Tiempo y área de la mezcla del estándar externo y estándar interno.

| No. | Compuesto | Tiempo de retención (min) | Área (unidades electrónicas) |
|-----|--------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1 | 2, 4, 5, 6-Tetracloro-m-xileno | 8.810 | 8.13040e4 |
| 2 | HCH alfa | 9.341 | 8.908805 |
| 3 | HCH beta | 10.114 | 4.29323e5 |
| 4 | HCH gama | 10.369 | 8.25847e5 |
| 5 | HCH delta | 11.353 | 4.31907e5 |
| 6 | Heptacloro | 13.055 | 5.86464e5 |
| 7 | Aldrín | 14.720 | 9.43816e5 |
| 8 | Heptacloro epóxido | 16.726 | 8.35219e5 |
| 9 | Alfa endosulfán | 18.858 | 6.74017e5 |
| 10 | DDE | 20.187 | 5.55343e5 |
| 11 | Dieldrín | 20.554 | 8.57731e5 |
| 12 | Endrín | 21.937 | 3.56953e5 |
| 13 | Beta endosulfán | 22.735 | 4.64423e5 |
| 14 | DDD | 23.067 | 4.45075e5 |
| 15 | Endrín aldehído | 23.751 | 5.85692e5 |
| 16 | Sulfato de endosulfán | 25.429 | 2.58930e5 |
| 17 | DDT | 25.758 | 3.49683e5 |
| 18 | Endrín cetona | 28.998 | 5.64255e5 |
| 19 | Metoxicloro | 30.156 | 1.62323e5 |

Los valores del límite de detección para agua y sedimento se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de límite de detección para agua y sedimento.

| Analito | Límite detección (ng/ml) | Límite detección (ng/g) |
|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| α -HCH | 0.26 | 0.26 |
| β -HCH | 0.33 | 0.33 |
| γ -HCH | 0.26 | 0.26 |
| δ -HCH | 0.33 | 0.33 |
| Heptacloro | 0.35 | 0.35 |
| Aldrín | 0.46 | 0.46 |
| Heptacloro epóxido | 0.35 | 0.35 |
| α -endosulfán | 0.16 | 0.16 |
| DDE | 0.39 | 0.39 |
| Dieldrín | 0.25 | 0.25 |
| Endrín | 0.11 | 0.11 |
| β -endosulfán | 0.24 | 0.24 |
| DDD | 0.24 | 0.24 |
| Endrín aldehído | 0.25 | 0.25 |
| Endosulfán sulfato | 0.67 | 0.67 |
| DDT | 0.51 | 0.51 |
| Endrín cetona | 0.22 | 0.22 |
| Metoxicloro | 0.42 | 0.42 |

7.5 Análisis granulométrico

Se realizó el análisis granulométrico de los sedimentos colectados en cada sitio de muestro empleando el equipo Coulter modelo LS230, cuyo fundamento consiste en medir el tamaño de las partículas por difracción de un haz de luz láser. La muestra debe estar en el rango de tamaño de partículas de 0.04 a 2000 μm , por lo que esta metodología únicamente cuantifica arenas, limos y arcillas. En el caso de que la muestra presentara gravas, ésta se secó en una estufa a 40 °C durante dos días, posteriormente se pesó y se realizó un tamizado húmedo (luz de malla de 2,000 μm), con la finalidad de separar las gravas, las cuales se secaron nuevamente y se pesaron, para obtener una correlación del peso total de la muestra y el peso de las gravas y de esta manera determinar su porcentaje.

Una vez separadas las arenas, limos y arcillas, las cuales contenían agua debido al tamizado húmedo, se dejaron sedimentar durante 24 horas, eliminando el agua mediante pipeteo. Sí las muestras húmedas no contenían gravas o una vez que se eliminó el agua del tamizado, se colocaron en vasos de precipitados de 50 ml con agua oxigenada hasta cubrir la muestra, durante 24 horas con la finalidad de oxidar la materia orgánica y eliminarla. Posteriormente, se eliminó el agua oxigenada mediante pipeteo y se cubrió la muestra con agua destilada durante 24 horas, para

enjuagar la muestra y eliminar sales solubles, el agua nuevamente se eliminó por pipeteo, a la muestra se le agregó una solución del dispersante hexametáfosfato de sodio (100 g/l de agua destilada) hasta cubrirla, se dejó actuar por 24 horas para que se disgregaran todas las partículas, pasado este tiempo se homogenizó la muestra, con una pipeta Pasteur, se tomaron alícuotas y se efectuó el análisis en el equipo láser por triplicado (Modificación de la técnica de Folk., 1974). Una vez analizada la muestra, el equipo manda la información al software y grafica el porcentaje de volumen vs. diámetro de partícula, obteniéndose una gráfica promedio de las tres mediciones dichos valores se exportaron a una hoja de Excel, para obtener el tamaño grafico promedio y el porcentaje de arenas, limos y arcillas presentes en cada muestra.

7.6 Carbono Orgánico Total (COT)

El COT se determinó mediante el método de titulación, el cual utiliza calentamiento exotérmico y oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado el exceso de dicromato de potasio es titulado con sulfato ferroso ($FeSO_4$) 0.5 N (Gaudette *et al.*, 1974).

Se pesó entre 0.1y1 g de sedimento seco y tamizado (luz de malla de 0.2 mm), se colocó éste en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se agregaron 5 ml de la solución de $K_2Cr_2O_7$ (1 N). A continuación se adicionó al H_2SO_4 concentrado (10 ml) y se mezcló durante un minuto. La muestra se dejó reposar 30 min y se diluyó con 100 ml de agua destilada. Posteriormente, se agregaron 5 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 85 % y cinco gotas de difenilamina (0.5 g en 20 ml de agua destilada). La muestra se tituló con sulfato ferroso (0.5 N) observándose un cambio de color café verdoso a verde y posteriormente a azul oscuro y en el punto de equivalencia a verde brillante. El análisis se realizó por duplicado tanto para cada muestra de sedimento como para el blanco.

Los resultados se calcularon por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ COT} = 5 (1-T/S) (1 \text{ N} \times 0.003) (100/W) \times 1.33$$

Donde:

5 = volumen de $K_2Cr_2O_7$ en ml agregados a la muestra de sedimento

T = ml de $FeSO_4$ gastado en la titulación de la muestra

S = ml de FeSO_4 gastado en la titulación del blanco

0.003=12/4000 =peso equivalente del carbono

1 N = normalidad del $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

W =peso seco de la muestra de sedimento en gramos

1.33= factor de corrección (Hernández, *et al.*, 2008).

8 RESULTADOS

Debido a la salinidad y a la localización de los sitios de muestreo, éstos se dividieron en dos grupos: laguna (sitios del 1 al 8) con salinidades de 30 ‰ a 40 ‰ y drenes (sitios del 9 al 15) con salinidades de 0 ‰ a 4 ‰.

8.1 Salinidad

8.1.1 Época de estiaje cálido (junio)

Los valores de salinidad obtenidos durante la época de estiaje cálido (junio) en la laguna oscilaron entre 36 y 40 ‰. En el sitio 2 se presentó el mayor valor de salinidad, seguido por los sitios 7 y 8 con 39 ‰, en los sitios 1, 3, 4 y 6 los valores de salinidad se ubicaron entre 38 ‰ y 36 ‰. En general, en la laguna los valores se mantuvieron arriba de la salinidad promedio del agua de mar que es de 35 ‰ (Libes, 1992), debido a la alta evaporación y a la poca profundidad excepto en el sitio 5, en el que se registró una salinidad de 14 ‰ (Figura 16).

El valor promedio de la salinidad y la desviación estándar de la laguna (sin incluir el sitio 5) se muestran en la Tabla 6. En la Tabla 9 se observan los valores registrados en cada sitio. Cabe mencionar que en los sitios correspondientes a los drenes no fue posible realizar las mediciones de salinidad durante esta época.

8.1.2 Época de lluvias (agosto)

En la época de lluvias (agosto) la salinidad en la laguna (1-8) osciló entre 35 ‰ y 40 ‰, presentándose el valor máximo en los sitios 3 y 5, mientras que la salinidad de 35 ‰ se registró en los sitios 1 y 7. En los drenes (9-15) durante esta época, el valor más alto fue de 4 ‰ que corresponde al sitio 9 y el mínimo de 0 ‰ en los sitios 11 y 12 (Figura 16) el valor promedio,

la desviación estándar se muestran en la Tabla 6. Los valores registrados en cada sitio se muestran en la Tabla 9.

8.1.3 Época estiaje frío (marzo)

El valor más alto de salinidad durante esta época en la laguna, se presentó en el sitio 1 con valor de 38.2 ‰, seguido por los sitios 2 y 3 con salinidad de 37.9 ‰, en el sitio 4 la salinidad detectada fue de 37 ‰ y en los sitios 8, 6 y 7 los valores de salinidad registrados fueron 35.1 ‰, 32.8 ‰ y 30 ‰, respectivamente. En el sitio 5 la salinidad disminuyó drásticamente a 1.9 ‰ (Figura 16).

En cuanto a los drenes la salinidad más alta se presentó en el sitio 9 con un valor de salinidad de 2.7 ‰, seguido por el sitio 12 con una salinidad de 2 ‰, el sitio 14 con 1.9 ‰, el sitio 13 con 1.6 ‰, el sitio 10 con 1.5 ‰ y finalmente el sitio 11 con 1 ‰ (Figura 16).

Los valores promedio, la desviación estándar y los valores registrados en cada sitio se muestran en la Tabla 6 y Tabla 9.

El valor promedio de la salinidad en la laguna considerando las tres épocas fue de 37.0 ‰ y el valor promedio de los drenes fue 1.9 ‰.

Tabla 6. Valores promedio de la salinidad del agua y desviación estándar (en paréntesis) en laguna y drenes en las épocas de estiaje cálido (junio), lluvias (agosto) y estiaje frío (marzo).

| Salinidad ‰ | | |
|------------------------|-------------|-----------|
| | Laguna | Drenes |
| Estiaje cálido (junio) | 38.0(1.3)* | |
| Lluvias (agosto) | 37.6 (1.9) | 2.1 (1.5) |
| Estiaje frío (marzo) | 35.5 (3.1)* | 1.7 (0.5) |

(*) Sitio 5 no considerado en la obtención del promedio.

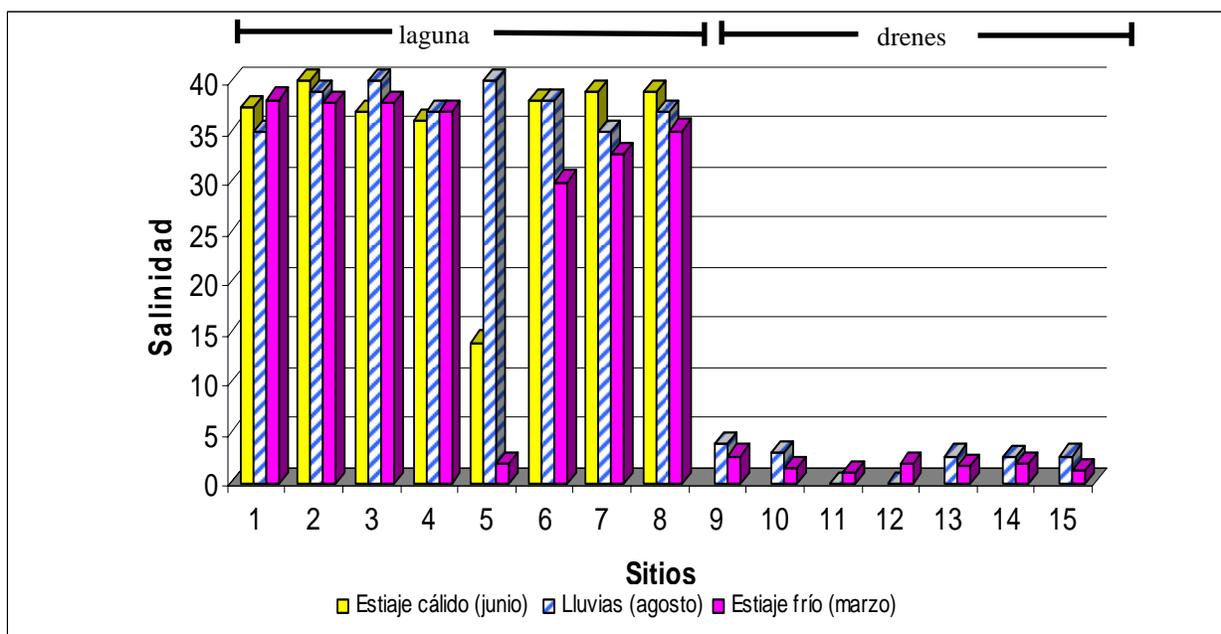


Figura 16. Variación temporal de salinidad (%) en el Sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa.

8.2 Temperatura Superficial

8.2.1 Época de estiaje cálido (junio)

En la época de estiaje cálido (junio) las temperaturas superficiales del agua oscilaron entre 23.0 °C y 31.3 °C (Figura 17 y Tabla 9), apreciándose que las mayores temperaturas se registraron en la laguna (1-8), los valores promedio y desviación estándar de la laguna y drenes se muestran en la Tabla 7.

8.2.2 Época de lluvias (agosto)

Las temperaturas superficiales del agua oscilaron entre 33.7 °C y 29.5 °C (Figura 17 y Tabla 9). El valor promedio y la desviación estándar de la laguna y drenes se muestran en la Tabla 7.

8.2.3 Época de estiaje frío (marzo)

En esta época se observó una notable disminución de la temperatura del agua superficial, ya que la máxima fue de 21.4 °C y la mínima de 16.2 °C, en los sitios 7 y 13 respectivamente (Figura 17 y Tabla 9). Las mayores temperaturas fueron registradas en la laguna. El valor promedio y la desviación estándar en la laguna (1-8) y drenes (9-15) se muestran en la Tabla 7.

Las mayores temperaturas se presentaron durante la época de lluvias (agosto), seguida de la época de estiaje cálido (junio) y finalmente en la época de estiaje frío (marzo) (Figura 17).

El valor promedio de la temperatura en la laguna considerando los tres muestreos fue de 28 °C, mientras que la temperatura del agua superficial en los drenes fue de 25 °C.

Tabla 7. Valores promedio de la temperatura del agua y desviación estándar (en paréntesis) en la laguna y drenes en las épocas de estiaje cálido (junio), lluvias (agosto) y estiaje frío (marzo).

| Temperatura ° C | | |
|------------------------|-------------|------------|
| | Laguna | Drenes |
| Estiaje cálido (junio) | 30.6 (0.4) | 25.8 (2.8) |
| Lluvias (agosto) | 32.5 (0.68) | 31.4 (1.3) |
| Estiaje frío (marzo) | 20.0 (0.9) | 18.2 (1.1) |

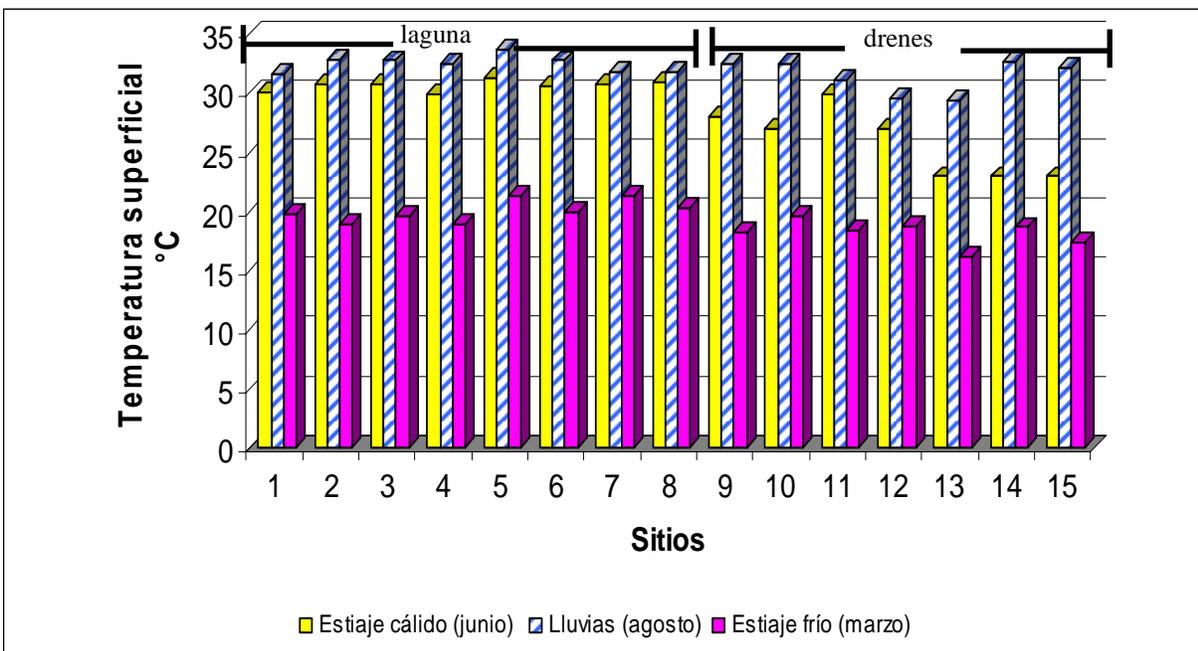


Figura 17. Variación de la temperatura (°C) en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa.

8.3 pH

Los valores de pH obtenidos en la laguna durante los tres muestreos, tienden a ser ligeramente alcalinos (Figura 18 y Tabla 9), manteniendo un pH cercano a 8 que es el pH del agua marina (Libes, 1992). Los valores promedio de pH y la desviación estándar durante la época de estiaje cálido (junio), lluvias (agosto) y estiaje frío (marzo) se muestran en la Tabla 8. El pH presentó una tendencia a disminuir un poco en los drenes, debido a que el agua dulce es ligeramente ácida. En la época de estiaje cálido (junio) no fue posible realizar las mediciones de pH en los drenes.

Tabla 8. Valores promedio de pH del agua y desviación estándar (en paréntesis) en la laguna y drenes en las épocas de estiaje cálido (junio), lluvias (agosto) y estiaje frío (marzo).

| | pH | |
|------------------------|-----------|-----------|
| | Laguna | Drenes |
| Estiaje cálido (junio) | 8.0 (0.2) | |
| Lluvias (agosto) | 8.2 (0.1) | 7.6 (0.5) |
| Estiaje frío (marzo) | 7.9 (0.0) | 7.3 (0.4) |

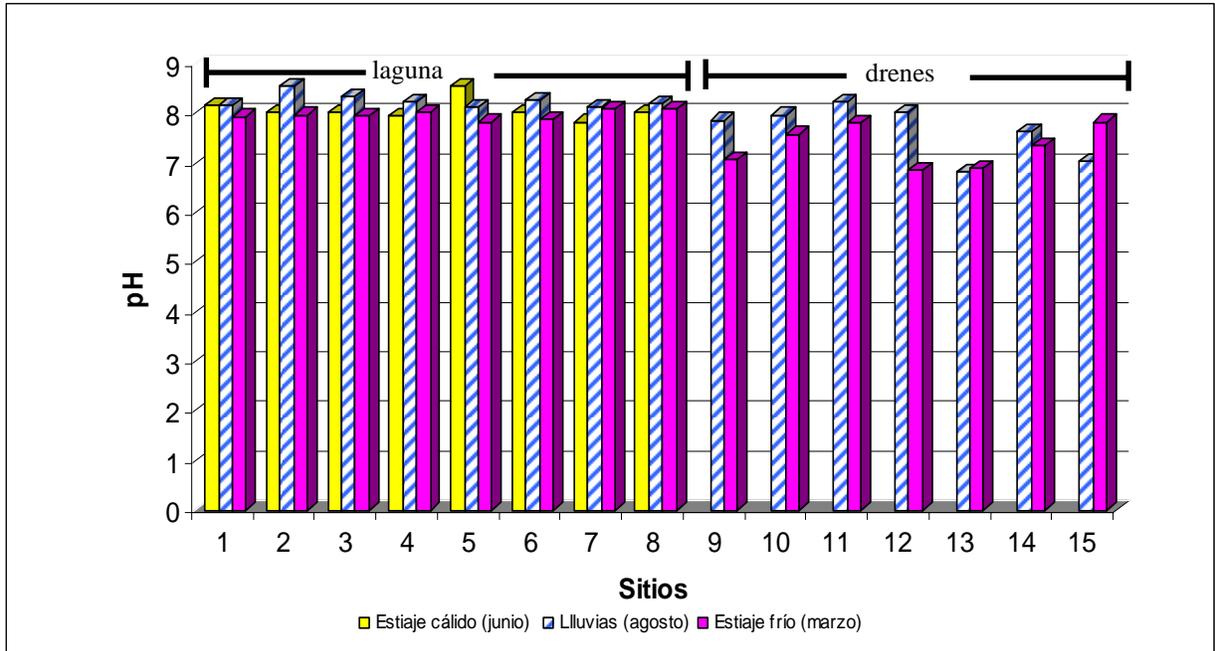


Figura 18. Variación del pH en el sistema Navachiste-Macapule, Sinaloa.

Tabla 9. Ubicación de sitios de muestreo. Se presentan valores de salinidad, temperatura y pH para las tres épocas de muestreo.

| Sitio | Coordenadas | | Época de estiaje cálido (junio) | | | Época de lluvias (agosto) | | | Época de estiaje frío (marzo) | | |
|-------|-------------|-------------|---------------------------------|----------------------------|-----|---------------------------|----------------------------|------|-------------------------------|----------------------------|-----|
| | | | Salinidad ‰ | Temperatura superficial °C | pH | Salinidad ‰ | Temperatura superficial °C | pH | Salinidad ‰ | Temperatura superficial °C | pH |
| | Latitud N | Longitud W | | | | | | | | | |
| 1 | 25°25.98 | 108°48.92 | 38 | 30.2 | 8.1 | 35 | 31.7 | 8.1 | 38 | 19.8 | 7.9 |
| 2 | 25°31.865 | 108°51.629 | 40 | 30.8 | 8.0 | 39 | 32.9 | 8.5 | 38 | 18.9 | 7.9 |
| 3 | 25°30.526 | 108°47.265 | 37 | 30.8 | 8.0 | 40 | 32.8 | 8.3 | 38 | 19.6 | 7.9 |
| 4 | 25° 27.023 | 108° 47.230 | 36 | 29.9 | 7.9 | 37 | 32.6 | 8.2 | 37 | 19 | 8.0 |
| 5 | 25°29.39 | 108°45.733 | 14 | 31.3 | 8.5 | 40 | 33.7 | 8.1 | 2 | 21.3 | 7.8 |
| 6 | 25°26.038 | 108°45.733 | 38 | 30.7 | 8.0 | 38 | 32.8 | 8.2 | 30 | 20 | 7.9 |
| 7 | 25°22.169 | 108°39.094 | 39 | 30.8 | 7.8 | 35 | 31.9 | 8.1 | 33 | 21.4 | 8.1 |
| 8 | 25°23.745 | 108°41.086 | 39 | 31 | 8.0 | 37 | 31.8 | 8.2 | 35 | 20.4 | 8.1 |
| 9 | 25°37.840 | 108°43.838 | nr | 28 | nr | 4 | 32.5 | 7.8 | 3 | 18.3 | 7.0 |
| 10 | 25°36.561 | 108°42.994 | nr | 27 | nr | 3 | 32.5 | 7.9 | 2 | 19.6 | 7.5 |
| 11 | 25°31.253 | 108°35.944 | nr | 30 | nr | 0 | 31.1 | 8.2 | 1 | 18.5 | 7.8 |
| 12 | 25°25.551 | 108°32.830 | nr | 27 | nr | 0 | 29.6 | 8.0 | 2 | 18.8 | 6.8 |
| 13 | 25°38.494 | 108°32.277 | nr | 23 | nr | 2.7 | 29.5 | 6.82 | 2 | 16.2 | 6.8 |
| 14 | 25°42.349 | 108°36.364 | nr | 23 | nr | 2.6 | 32.7 | 7.6 | 2 | 18.7 | 7.3 |
| 15 | 25°43.383 | 108°38.824 | nr | 23 | nr | 2.7 | 32.2 | 7.0 | 1 | 17.4 | 7.8 |

nr: no registrado

8.4 Granulometría

8.4.1 Época estiaje cálido (junio)

En la Figura 19 se muestran los porcentajes de cada una de las fracciones granulométricas (grava, arena, limo y arcilla) del sistema lagunar Navachiste-Macapule. Los valores de los parámetros estadísticos granulométricos: tamaño promedio gráfico ($Mz \Phi$), desviación estándar gráfica inclusiva (σ_I), grado de asimetría gráfica (Sk_i) y curtosis gráfica (K_G) se muestran en la Tabla 10.

En la laguna las arenas predominaron, las cuales van desde arenas medias en los sitios 5 y 6 a arenas finas en el sitio 2 y arenas muy finas en los sitios 1, 3, 4 y 8.

En cuanto a la desviación estándar gráfica inclusiva (σ_I) los sitios de muestreo 3, 4, 6, 7 se ubicaron en la categoría de muy mal clasificados; los sitios 5 y 8 en la categoría de mal

clasificados; mientras que el sitio 1 en la categoría de moderadamente clasificado y finalmente el sitio 2 en la categoría de moderadamente bien clasificado.

Con respecto al grado de asimetría gráfica (Sk_i) los sitios 1, 3, 4, 5 y 8 fueron muy asimétricos hacia los finos, el sitio 7 presentó asimetría hacia los finos, el único sitio que presentó valor asimétrico hacia los gruesos fue el sitio 6, considerando que en este sitio el porcentaje de gravas fue de 21.23 %. El único sitio con valor simétrico fue el 2.

En cuanto a la curtosis gráfica (K_G) los sitios 1, 4, 7 y 8 presentaron una distribución muy leptocúrtica, los sitios 2, 3 y 5 una distribución leptocúrtica y el sitio 6 tuvo una distribución mesocúrtica.

En los drenes la fracción sedimentaria que predominó fue la de los limos, los cuales van desde limo fino en los sitios 12 y 13, limo medio en los sitios 9, 11 y 14, limo grueso en los sitios 10 y 15.

La mayoría de los valores de desviación estándar gráfica inclusiva en los drenes caen en la categoría de muy mal clasificados, excepto en el sitio 15, el cual se ubica en la categoría de mal clasificado.

En cuanto al grado de asimetría gráfica en los drenes, el único sitio que se ubica en la categoría asimétrico hacia los gruesos es el 12, los sitios 11 y 13 están en la categoría asimétricos hacia los finos, en la categoría muy asimétricos hacia los finos se encuentran los sitios 10 y 15, finalmente los únicos sitios con valores simétricos fueron el 9 y 14.

Los valores de la curtosis gráfica de los sitios 9, 10, 11, 13 y 14 tuvieron una distribución platicúrtica, el sitio 12 su distribución fue mesocúrtica y el 15 tuvo una distribución muy leptocúrtica.

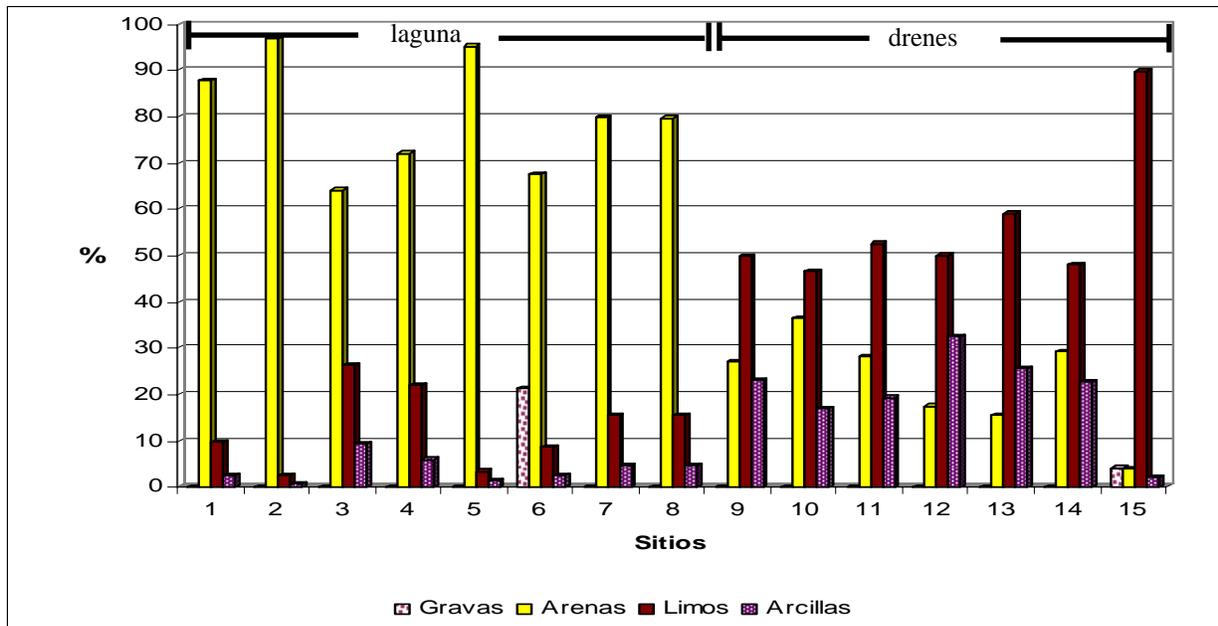


Figura 19. Porcentaje de fracciones granulométricas durante la época de estiaje cálido (junio) en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa.

Tabla 10. Parámetros estadísticos granulométricos en la época de estiaje cálido (junio).

| Parámetros estadísticos granulométricos | | | | |
|---|-----------------------|--|---------------------------------------|----------------------------|
| Sitio | Promedio gráfico (Mz) | Desviación estándar gráfica inclusiva (σ_i) | Grado de asimetría gráfica (Sk_i) | Curtosis gráfica (K_G) |
| 1 | 3.06 arena muy fina | 0.96 moderadamente clasificado | 0.38 muy asimétrico hacia los finos | 2.27 muy leptocúrtico |
| 2 | 2.59 arena fina | 0.60 moderadamente bien clasificado | -0.09 simétrico | 1.48 leptocúrtico |
| 3 | 3.31 arena muy fina | 2.14 muy mal clasificado | 0.56 muy asimétrico hacia los finos | 1.40 leptocúrtico |
| 4 | 3.53 arena muy fina | 2.04 muy mal clasificado | 0.30 muy asimétrico hacia los finos | 1.96 muy leptocúrtico |
| 5 | 1.44 arena media | 1.11 mal clasificado | 0.35 muy asimétrico hacia los finos | 1.18 leptocúrtico |
| 6 | 1.44 arena media | 2.43 muy mal clasificado | -0.21 asimétrico hacia los gruesos | 1.06 mesocúrtico |
| 7 | 2.92 arena fina | 2.02 muy mal clasificado | 0.14 asimétrico hacia los finos | 2.40 muy leptocúrtico |
| 8 | 3.43 arena muy fina | 1.37 mal clasificado | 0.50 muy asimétrico hacia los finos | 2.43 muy leptocúrtico |
| 9 | 5.93 limo medio | 2.54 muy mal clasificado | -0.01 simétrico | 0.82 platicúrtico |
| 10 | 5.00 limo grueso | 2.57 muy mal clasificado | 0.42 muy asimétrico hacia los finos | 0.85 platicúrtico |
| 11 | 5.65 limo medio | 2.38 muy mal clasificado | 0.26 asimétrico hacia los finos | 0.87 platicúrtico |
| 12 | 6.62 limo fino | 2.55 muy mal clasificado | -0.18 asimétrico hacia los gruesos | 0.92 mesocúrtico |
| 13 | 6.39 limo fino | 2.26 muy mal clasificado | 0.02 asimétrico hacia los finos | 0.89 platicúrtico |
| 14 | 5.78 limo medio | 2.67 muy mal clasificado | 0.01 simétrico | 0.83 platicúrtico |
| 15 | 4.86 limo grueso | 1.41 mal clasificado | 0.34 muy asimétrico hacia los finos | 1.65 muy leptocúrtico |

8.4.2 Época de lluvias (agosto)

En la Figura 20 se muestran los porcentajes de cada una de las fracciones granulométricas (grava, arena, limo y arcilla) del sistema lagunar Navachiste-Macapule. Los valores del tamaño promedio gráfico ($Mz \Phi$), desviación estándar gráfica inclusiva (σ_I), grado de asimetría gráfica (Sk_i) y curtosis gráfica (K_G) se muestran en Tabla 11.

En la laguna la fracción sedimentaria que predominó fue la arena, excepto en el sitio 7, donde predominó el limo medio. La fracción arenosa fina se presentó en los sitios 1, 5 y 6, mientras que la fracción arenosa muy fina se encontró en los sitios 2, 3, 4 y 8. En el sitio 7 el mayor porcentaje de limo medio se asume que es debido a un mayor aporte de sedimentos terrígenos, aportados por el dren 29 o bien, por la erosión provocada en los campos de cultivo por la lluvia durante esta época.

Los valores de la desviación estándar gráfica inclusiva (σ_I) permitieron ubicar a los sitios lagunares 1 y 8 en la categoría de moderadamente clasificados, mientras que en la categoría de mal clasificados están los sitios 2, 3 y 5, los sitios 4, 6 y 7 corresponden a la categoría de muy mal clasificados.

En cuanto al grado de asimetría gráfica (Sk_i) los sitios que se agrupan en la categoría de muy asimétrico hacia los finos son los sitios 1, 3 y 8. Los sitios 2 y 5 corresponden a la categoría asimétrico hacia los finos, únicamente el sitio 6 es asimétrico hacia los gruesos, en este sitio el porcentaje de gravas es muy similar al porcentaje de arenas. Los sitios 4 y 7 presentaron valores simétricos.

Los valores de la curtosis gráfica (K_G) de los sitios 2 y 5 presentaron una distribución extremadamente leptocúrticos, en los sitios 1, 3, 4 y 8 su distribución fue muy leptocúrtica, el sitio 7 tuvo una distribución leptocúrtica y finalmente el sitio 6 presentó una distribución platicúrtica.

En los drenes los limos finos predominaron excepto en el sitio 13 en donde el mayor porcentaje fue de arcillas.

De acuerdo a la desviación estándar gráfica inclusiva (σ_I) los valores de los sitios 9, 10, 12, 14 y 15 caen en la categoría de muy mal clasificados, mientras que los sitios 11 y 13 en la categoría de mal clasificados. El grado de asimetría gráfica (Sk_i) de los sitios de muestreo ubicados en los drenes son simétricos. La curtosis gráfica (K_G) de los sitios 9, 10, 11, 12, 14 y 15 fue platicúrtica y en el sitio 13 mesocúrtica.

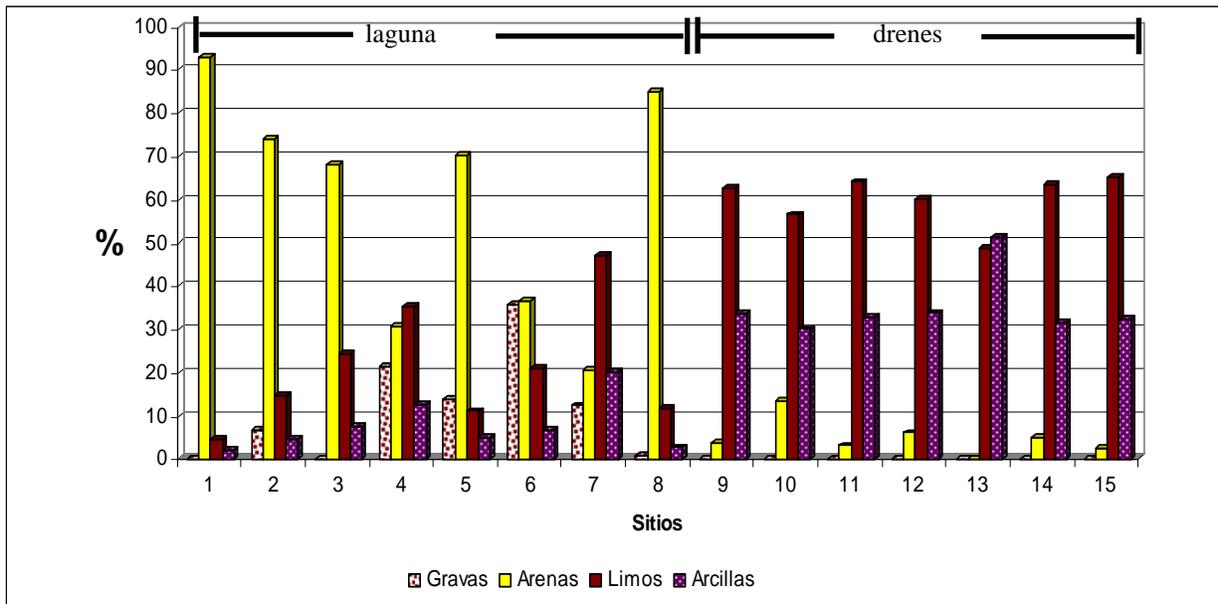


Figura 20. Porcentaje de fracciones granulométricas durante la época de lluvias (agosto) en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa.

Tabla 11. Parámetros estadísticos granulométricos en la época de lluvias (agosto).

| Parámetros estadísticos granulométricos | | | | |
|---|----------------------------|--|--|---|
| Sitio | Promedio gráfico (Mz) | Desviación estándar gráfica inclusiva (σ_I) | Grado de asimetría gráfica (Sk_I) | Curtosis gráfica (K_G) |
| 1 | 2.69 arena fina | 0.71 moderadamente clasificado | 0.49 muy asimétrico hacia los finos | 2.24 muy leptocúrtico |
| 2 | 3.39 arena muy fina | 1.77 mal clasificado | 0.27 asimétrico hacia los finos | 4.31 extremadamente leptocúrtico |
| 3 | 4.13 arena muy fina | 1.57 mal clasificado | 0.73 muy asimétrico hacia los finos | 1.87 muy leptocúrtico |
| 4 | 3.37 arena muy fina | 3.88 muy mal clasificado | -0.10 simétrico | 1.56 muy leptocúrtico |
| 5 | 2.92 arena fina | 1.93 mal clasificado | 0.26 asimétrico hacia los finos | 3.82 extremadamente leptocúrtico |
| 6 | 2.49 arena fina | 3.42 muy mal clasificado | -0.13 asimétrico hacia los gruesos | 0.76 platicúrtico |
| 7 | 5.70 limo medio | 2.98 muy mal clasificado | 0.04 simétrico | 1.22 leptocúrtico |
| 8 | 3.27 arena muy fina | 0.82 moderadamente clasificado | 0.39 muy asimétrico hacia los finos | 1.73 muy leptocúrtico |
| 9 | 6.87 limo fino | 2.14 muy mal clasificado | 0.07 simétrico | 0.73 platicúrtico |
| 10 | 6.57 limo fino | 2.20 muy mal clasificado | 0.03 simétrico | 0.70 platicúrtico |
| 11 | 6.97 limo fino | 1.99 mal clasificado | 0.05 simétrico | 0.81 platicúrtico |
| 12 | 6.87 limo fino | 2.10 muy mal clasificado | -0.05 simétrico | 0.74 platicúrtico |
| 13 | 8.03 limo muy fino | 1.57 mal clasificado | -0.03 simétrico | 0.98 mesocúrtico |
| 14 | 6.80 limo fino | 2.09 muy mal clasificado | 0.04 simétrico | 0.77 platicúrtico |
| 15 | 6.93 limo fino | 2.01 muy mal clasificado | 0.05 simétrico | 0.79 platicúrtico |

8.4.3 Época de estiaje frío (marzo)

En la Figura 21 se muestran los porcentajes de cada una de las fracciones granulométricas (grava, arena, limo y arcilla) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, durante esta época. Los valores del tamaño promedio gráfico ($Mz \Phi$), desviación estándar gráfica inclusiva (σ_I), grado de asimetría gráfica (Sk_i) y curtosis gráfica (K_G) se muestran en la Tabla 12.

En la laguna la arena fue la fracción sedimentaria con mayor porcentaje, en los sitios 1, 4 y 8 predominó la arena fina, en los sitios 2, 3 5 y 7 la arena muy fina y únicamente en el sitio 6 predominaron los limos gruesos.

En la laguna se ubicaron en las siguientes categorías: extremadamente mal clasificados (sitio 6), muy mal clasificados (sitio 5), mal clasificados (sitios 2, 3 y 7), moderadamente bien clasificados (sitio 8) y bien clasificados (sitios 1 y 4).

Los valores del grado de asimetría gráfica (Sk_1) en la laguna pertenecen a las categorías: asimétrico hacia los finos (sitios 1, 2 y 4), muy asimétrico hacia los finos (sitios 3, 5, 7 y 8) y el sitio 6 en la categoría muy asimétrico hacia los gruesos.

De acuerdo a curtosis gráfica (K_G) los sedimentos del sitio 6 presentaron una distribución muy platicúrtica, en el sitio 5 distribución platicúrtica, en los sitios 1, 4 y 7 la distribución fue mesocúrtica, en los sitios 3 y 8 su distribución fue muy leptocúrtica y el sitio 2 presentó distribución extremadamente leptocúrtica.

En los drenes la fracción limosa predominó, en los sitios 9, 13, 14 y 15 con limo fino, en los sitios 10 y 12 limo muy fino y limo medio en el sitio 11.

De acuerdo a los valores de la desviación estándar gráfica inclusiva (σ_1) los drenes se ubicaron en las siguientes categorías: muy mal clasificados (sitios 9, 11 y 12) y mal clasificados (sitios 10, 13, 14 y 15).

Los valores de simetría gráfica permitieron ubicar a los sedimentos en las siguientes categorías: asimetría hacia los gruesos (sitios 10 y 12), asimetría hacia los finos en el sitio 11 y los sedimentos simétricos (sitios 9, 13, 14 y 15).

Se presentó una distribución platicúrtica en los sitios 9, 11, 12 y 15 y distribución mesocúrtica en los sitios 10, 13 y 14.

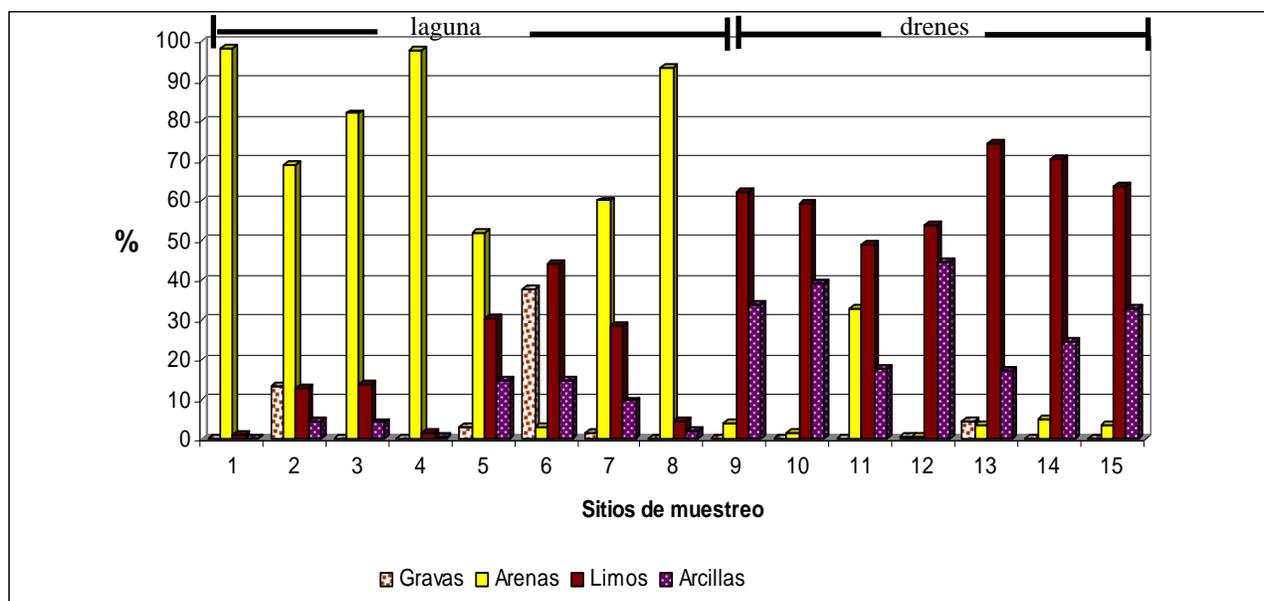


Figura 21. Porcentaje de fracciones granulométricas durante la época de estiaje frío (marzo) en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa.

Tabla 12. Parámetros estadísticos granulométricos en la época de estiaje frío (marzo).

| Parámetros estadísticos granulométricos | | | | |
|---|----------------------------|--|---|---|
| Sitios | Promedio gráfico (Mz) | Desviación estándar gráfica inclusiva (σ_I) | Grado de asimetría gráfica (S_{k_I}) | Curtosis gráfica (K_G) |
| 1 | 2.50 arena fina | 0.39 bien clasificado | 0.15 asimétrico hacia los finos | 1.02 mesocúrtico |
| 2 | 3.17 arena muy fina | 1.87 mal clasificado | 0.24 asimétrico hacia los finos | 4.10 extremadamente leptocúrtico |
| 3 | 3.45 arena muy fina | 1.05 mal clasificado | 0.60 muy asimétrico hacia los finos | 2.92 muy leptocúrtico |
| 4 | 2.44 arena fina | 0.42 bien clasificado | 0.19 asimétrico hacia los finos | 1.04 mesocúrtico |
| 5 | 3.91 arena muy fina | 2.19 muy mal clasificado | 0.73 muy asimétrico hacia los finos | 0.84 platicúrtico |
| 6 | 3.85 limos gruesos | 4.08 extremadamente mal clasificado | -0.35 muy asimétrico hacia los gruesos | 0.54 muy platicúrtico |
| 7 | 3.56 arena muy fina | 1.92 mal clasificado | 0.76 muy asimétrico hacia los finos | 1.01 mesocúrtico |
| 8 | 2.79 arena fina | 0.64 moderadamente bien clasificado | 0.44 muy asimétrico hacia los finos | 2.05 muy leptocúrtico |
| 9 | 6.99 limo fino | 2.05 muy mal clasificado | 0.00 simétrico | 0.80 platicúrtico |
| 10 | 7.32 limo muy fino | 1.91 mal clasificado | -0.12 asimétrico hacia los gruesos | 0.93 mesocúrtico |
| 11 | 5.51 limo medio | 2.12 muy mal clasificado | 0.57 muy asimétrico hacia los finos | 0.78 platicúrtico |
| 12 | 7.33 limo muy fino | 2.09 muy mal clasificado | -0.20 asimétrico hacia los gruesos | 0.79 platicúrtico |
| 13 | 6.32 limo fino | 1.76 mal clasificado | 0.05 simétrico | 0.99 mesocúrtico |
| 14 | 6.68 limo fino | 1.87 mal clasificado | 0.07 simétrico | 0.92 mesocúrtico |
| 15 | 6.98 limo fino | 1.97 mal clasificado | -0.02 simétrico | 0.84 platicúrtico |

La fracción sedimentaria que predominó en la laguna (considerando las tres épocas) fue la arena, mientras que en drenes, lo que predominó fue la fracción limosa (Figura 22). El valor promedio gráfico (Mz) en la laguna fue de 3.13 que corresponde a la categoría de arena muy fina. En los drenes el valor gráfico promedio (Mz) también considerando las tres épocas corresponde a la categoría de limo fino con un valor de 6.49.

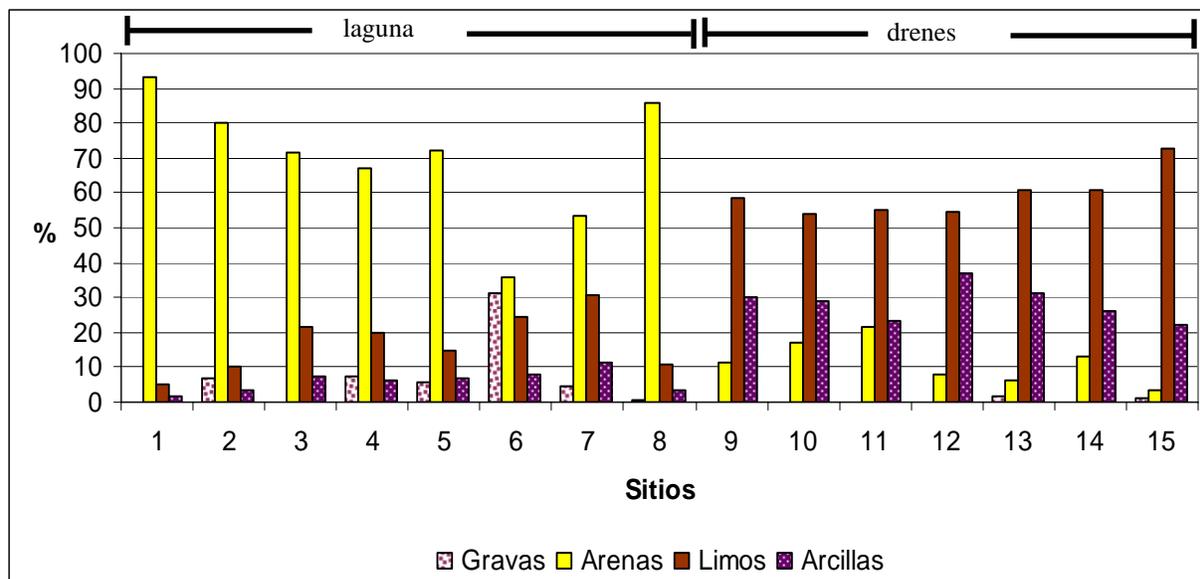


Figura 22. Porcentaje promedio de las fracciones sedimentarias presentes en el sistema Navachiste-Macapule en tres épocas de muestreo.

8.5 Carbono Orgánico Total (COT)

8.5.1 Época de estiaje cálido (junio)

Los valores de COT correspondientes a esta época en todo el sistema (laguna y drenes) se presentaron en un intervalo de 0.58 % a 2.67 % con un valor promedio de 0.98% (Figura 23; Tabla 17).

En la laguna el valor promedio de COT fue de 1.05 % con un intervalo entre 2.67 % y 0.58 %, valores extremos que se presentaron en los sitios 7 y 2 respectivamente.

El valor promedio de COT en los drenes fue 0.90 %, el valor más alto se registró en el sitio 13 (1.66 %) y el menor porcentaje de COT se presentó en los sitios 11 y 15 (0.68 %).

Los mayores porcentajes de COT se presentaron en la laguna, aún cuando en los drenes se presentó el mayor porcentaje de limos y arcillas.

En la Tabla 13 se muestra el coeficiente de correlación entre los diferentes tamaños granulométricos del sedimento y el COT (considerando laguna y drenes), COT en la laguna y COT en los drenes, usado como una herramienta exploratoria, en ningún caso las correlaciones fueron significativas.

Tabla 13. Coeficientes de correlación (r) entre la granulometría y el COT en la época de estiaje cálido (junio).

| | Gravas | Arenas | Limos | Arcillas | Limos y arcillas |
|--------------|--------|--------|-------|----------|------------------|
| COT (total) | 0.09 | 0.07 | -0.10 | -0.02 | -0.08 |
| COT (laguna) | 0.10 | -0.21 | 0.18 | 0.11 | 0.16 |
| COT (drenes) | -0.29 | -0.07 | -0.09 | 0.27 | 0.13 |

p<0.05

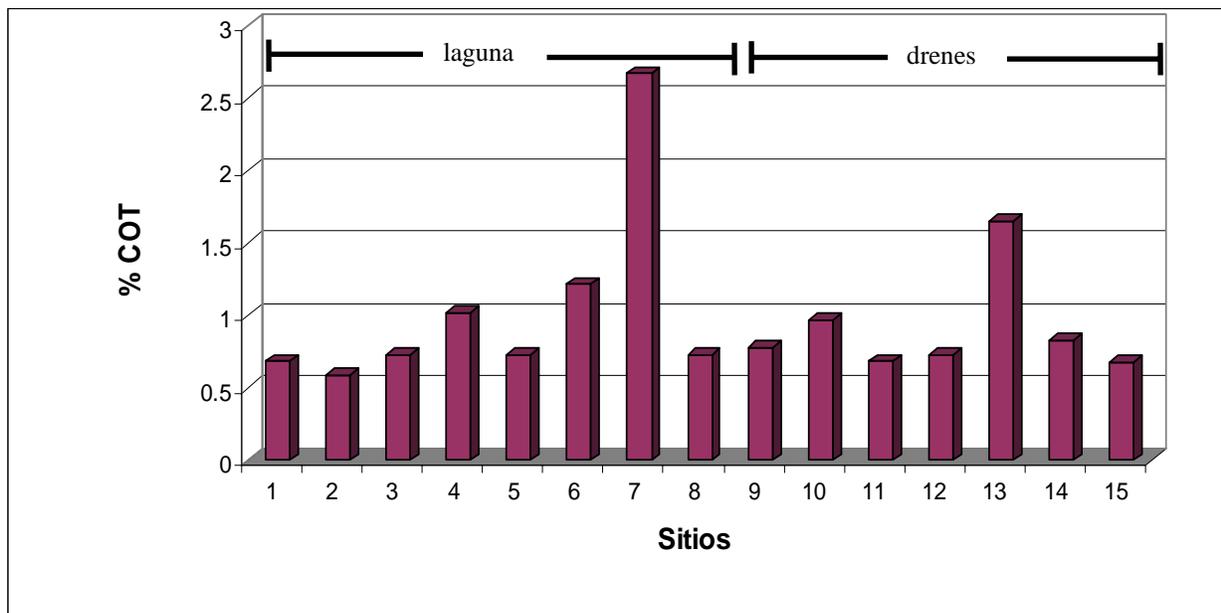


Figura 23. Porcentaje de COT en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa. Época de estiaje cálido (junio).

8.5.2 Época de lluvias (agosto)

Los valores de COT en sedimentos en la época de lluvias (agosto), considerando la laguna y drenes, oscilaron en un intervalo de 0.24 % a 1.61 %, con un valor promedio de 0.80 % (Figura 24; Tabla 17).

En la laguna el intervalo de COT osciló entre 0.24 % y 1.61 %. El porcentaje más alto se observó en el sitio 6 (1.61 %), siguiéndole en orden decreciente los sitios 5 (1.60 %) y el sitio 4 (1.26 %). El porcentaje promedio de COT en la laguna durante la época de lluvias fue de 0.98 %.

El promedio de COT en drenes en la época de lluvias fue 0.60 %, con un intervalo de 0.29 % a 1.56 %. Observándose el valor más alto en el sitio 10 (1.56 %), seguido por los sitios 11 y 12 (0.63 %).

En la Tabla 14 se muestran los coeficientes de correlación empleados como una herramienta exploratoria entre la granulometría y el COT con coeficientes de correlación significativo con gravas, arenas y limos-arcillas en la época de lluvias (agosto).

Tabla 14. Coeficientes de correlación (r) entre la granulometría y COT en la época de lluvias (agosto).

| | Gravas | Arenas | Limos | Arcillas | Limos y Arcillas |
|--------------|-------------|-------------|-------|----------|------------------|
| COT (total) | 0.66 | 0.12 | -0.26 | -0.34 | -0.30 |
| COT (laguna) | 0.73 | -0.56 | 0.30 | 0.29 | 0.30 |
| COT (drenes) | 0.00 | 0.89 | -0.24 | -0.33 | -0.89 |

$p < 0.05$; coeficientes de correlación significativos se muestran en negritas.

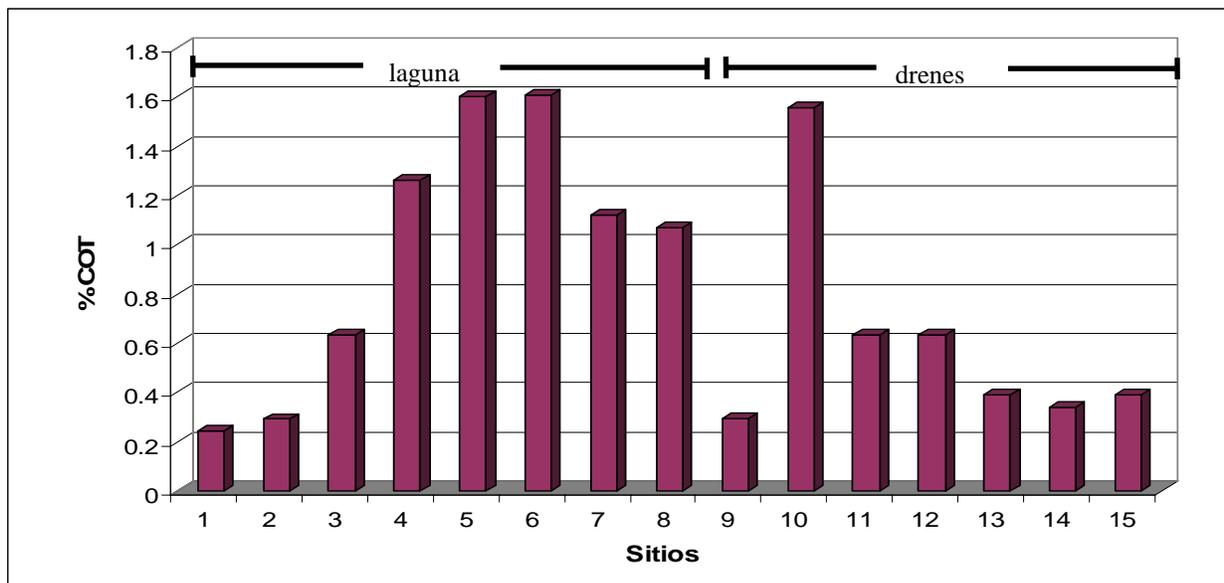


Figura 24. Porcentaje de COT en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa. Época de lluvias (agosto).

8.5.3 Época de estiaje frío (marzo)

Los niveles de COT en sedimentos durante la época de estiaje frío (marzo) presentaron un valor promedio considerando todo el sistema (laguna y drenes) de 0.90 %, el mayor contenido de COT fue de 1.75 % en el sitio 6 y el mínimo de 0.34 % en el sitio 1 (Figura 25; Tabla 17).

El valor promedio de COT en la laguna fue de 0.74 %, con un intervalo de 0.34 % a 1.75 %, registrándose el mayor porcentaje en el sitio 6, seguido del sitio 7 (1.22 %).

En los drenes el valor promedio de COT fue 1.09 %, el porcentaje de COT osciló entre 1.66 % (sitio 13) y 0.73 % (sitio 15).

Como una herramienta exploratoria se obtuvieron correlaciones siendo significativas durante esta época entre el COT y los diferentes grupos granulométricos (gravas, arenas, limos, arcillas y limos-arcillas) (Tabla 15).

Tabla 15. Coeficientes de correlación (r) entre la granulometría y COT en la época de estiaje frío (marzo).

| | Gravas | Arenas | Limos | Arcillas | Limos y arcillas |
|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|------------------|
| COT (total) | 0.47 | -0.74 | 0.71 | 0.41 | 0.63 |
| COT (laguna) | 0.79 | -0.92 | 0.91 | 0.79 | 0.88 |
| COT (drenes) | 0.65 | -0.29 | 0.67 | -0.36 | 0.19 |

p<0.05; coeficientes de correlación significativos se muestran en negritas.

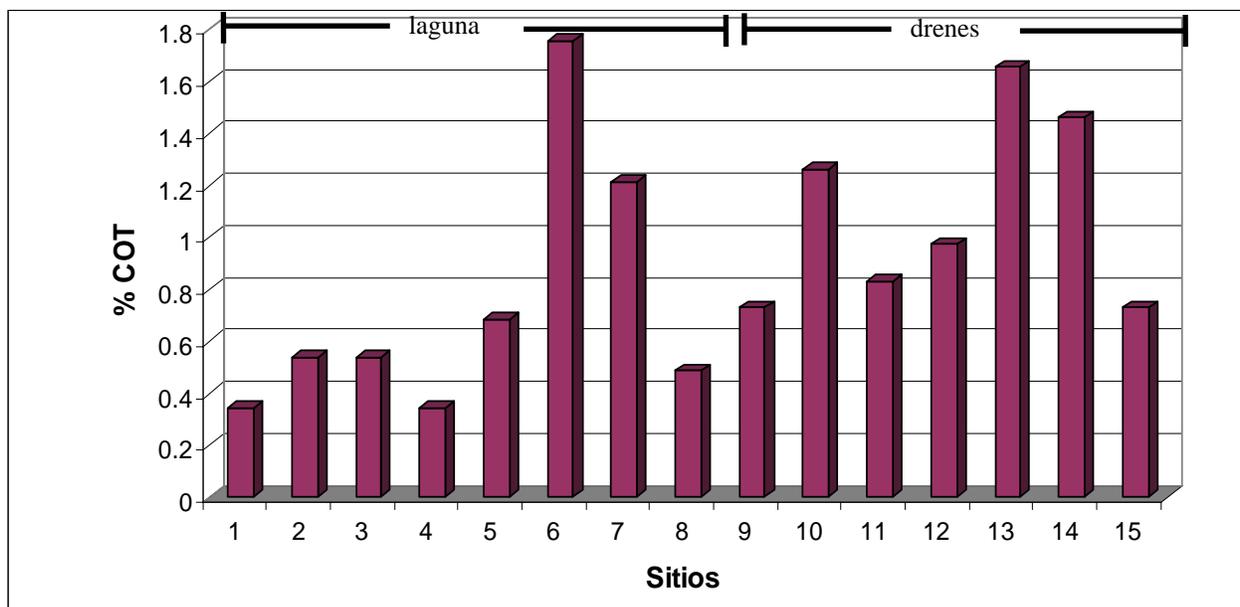


Figura 25. Porcentaje de COT en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa. Época de estiaje frío (marzo).

El porcentaje promedio de COT en sedimentos del sistema (laguna y drenes) considerando los tres muestreos fue de 0.90 %, en la laguna fue de 0.92 % y de 0.87 % en los drenes.

En el sistema durante la época de estiaje cálido se presentó el mayor porcentaje promedio de COT (0.98 %), seguida de la época de estiaje frío (0.90%) y finalmente la época de lluvias (0.80 %). En la laguna el mayor porcentaje promedio de COT se registró en la época de estiaje cálido (1.05 %), seguido por la época de lluvias (0.98 %) y finalmente la época de estiaje frío (0.74 %). En los drenes en la época de estiaje frío se presentó el mayor porcentaje promedio de COT con 1.09 %, seguido por la época de estiaje cálido con 0.90 % y en la época de lluvias se registró un valor de 0.60 %.

El sitio con mayor porcentaje promedio de COT en el sistema, considerando los tres muestreos fue el sitio 7 (1.67 %), seguido en orden decreciente por los sitios 6 (1.53 %), 10 (1.26 %), 13 (1.23 %), 5 (1.01 %), 4 (0.88 %), 14 (0.88 %), 12 (0.78 %), 8 (0.76 %), 11 (0.71 %), 3 (0.63 %), 9 (0.60 %), 15 (0.60 %), 2 (0.47 %) y 1 (0.42 %).

En la Tabla 16 se muestran los coeficientes de correlación utilizados como herramienta exploratoria entre el COT y los grupos granulométricos considerando las tres épocas. Se obtuvieron coeficientes significativos en los sitios lagunares y arenas, limos, arcillas y limos-arcillas.

Tabla 16. Coeficientes de correlación (r) entre la granulometría y COT considerando las tres épocas.

| | Gravas | Arenas | Limos | Arcillas | Limos y arcillas |
|--------------|--------|--------------|-------------|-------------|------------------|
| COT (total) | 0.50 | -0.22 | 0.09 | 0.11 | 0.10 |
| COT (laguna) | 0.59 | -0.87 | 0.85 | 0.87 | 0.86 |
| COT (drenes) | 0.15 | 0.13 | -0.35 | 0.28 | -0.16 |

p<0.05; coeficientes de correlación significativos se muestran en negritas.

En general, los mayores porcentajes de COT se registraron en la laguna, excepto en la época de estiaje frío (marzo) los principales aportes de materia orgánica al sistema provienen de las descargas intermitentes de la agricultura, de las granjas camaronícolas y desechos municipales de la ciudad de Guasave (Hernández *et al.*, 2005; INEGI, 2000; Orduña-Rojas y Longoria-Espinoza, 2006; CNA, 2002).

Tabla 17. Porcentaje de COT y desviación estándar en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa. Época estiaje cálido (junio), época de lluvias (agosto) y época de estiaje frío (marzo).

| Sitio | Estiaje calido (junio) | Lluvias (agosto) | Estiaje frío (marzo) | Promedio Total |
|--------------------|------------------------|------------------|----------------------|----------------|
| 1 | 0.68 ±0.07 | 0.24 ± 0 | 0.34 ± 0.14 | 0.42 ± 0.22 |
| 2 | 0.58 ±0.07 | 0.29 ± 0.07 | 0.54± 0 | 0.47± 0.15 |
| 3 | 0.73± 0 | 0.63± 0 | 0.54 ± 0 | 0.63 ± 0.09 |
| 4 | 1.02 ± 0 | 1.26 ± 0.07 | 0.34 ± 0 | 0.88 ± 0.43 |
| 5 | 0.73 ±0 | 1.60± 0 | 0.68 ± 0.07 | 1.01 ± 0.47 |
| 6 | 1.22 ± 0 | 1.61± 0 | 1.75 ± 0.07 | 1.53 ± 0.25 |
| 7 | 2.67± 0 | 1.12± 0 | 1.22± 0 | 1.67± 0.78 |
| 8 | 0.73 ± 0 | 1.07 ± 0.62 | 0.49 ± 0.07 | 0.76± 0.38 |
| 9 | 0.78 ±0.07 | 0.29 ± 0.07 | 0.73± 0 | 0.60 ± 0.24 |
| 10 | 0.97 ± 0.07 | 1.56 ± 0.07 | 1.26 ± 0.07 | 1.26 ± 0.27 |
| 11 | 0.68 ± 0.07 | 0.63± 0 | 0.83 ± 0.14 | 0.71 ± 0.11 |
| 12 | 0.73± 0 | 0.63± 0 | 0.97± 0.07 | 0.78 ± 0.16 |
| 13 | 1.66 ± 0.07 | 0.39 ± 0.07 | 1.66 ± 0.07 | 1.23 ± 0.66 |
| 14 | 0.83 ± 0.14 | 0.34 ± 0.14 | 1.46 ± 0.07 | 0.88 ± 0.51 |
| 15 | 0.68 ± 0.07 | 0.39 ± 0.07 | 0.73± 0 | 0.60± 0.17 |
| promedio | 0.98 | 0.80 | 0.90 | 0.90 |
| promedio lagunares | 1.05 | 0.98 | 0.74 | 0.92 |
| promedio drenes | 0.90 | 0.60 | 1.09 | 0.87 |

8.6 OCs en agua

En las épocas de estiaje cálido (junio), lluvias (agosto) y estiaje frío (marzo), los OCs estuvieron por debajo del límite de detección o no fueron detectados, excepto el metoxicloro en la época de estiaje cálido (junio) en los sitios 2 y 6 con 0.76 ng/ml y 0.44 ng/ml, respectivamente (Tabla 18; Tabla 19 y Tabla 20). De acuerdo a la CICOPLAFFEST (2004), el uso del metoxicloro es restringido para ser empleado en cultivos de arroz, avena, cacahuete, cebada, chicharo, fríjol, maíz y trigo.

A pesar de que los OCs son poco solubles o insolubles en agua muestran alta afinidad por la materia particulada. Los OCs son transportados por las aguas de escorrentía, en solución, suspensión o bien ligados a la materia particulada suspendida y a los sedimentos que son arrastrados por la misma escorrentía, siendo acumulados finalmente en los sedimentos superficiales. De esta manera, los plaguicidas presentes en la cuenca de drenaje de una laguna

costera pueden llegar hasta ella, sin necesidad de ser vertidos en los cauces principales (Albert y Benítez, 2005; Liu, *et al.*, 2008; Sarkar, *et al.*, 2007), por lo anterior en este trabajo se analizaron muestras de agua.

Tabla 18. Concentración de OCs en agua (ng/ml) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio).

| | | Sitios | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|--------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Laguna | | | | | | | | Drenes | | | | | | |
| OCs | Compuesto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | α - HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | β - HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | γ -HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | δ -HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| Derivados de Hidrocarburos Aromáticos | DDT | nd | dld | dld | dld | dld | nd | dld | nd | dld | dld | nd | nd | nd | nd | dld |
| | DDE | dld | nd | nd | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | DDD | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld |
| | Metoxicloro | dld | 0.76 | dld | dld | dld | 0.44 | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| Derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | Aldrín | nd | nd | nd | dld | nd | nd | nd | nd | dld | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| | Dieldrín | dld | dld | dld | dld | dld | nd | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Endrín | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Endrín aldehído | dld | dld | dld | dld | nd | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld |
| | Endrín cetona | dld | dld | dld | nd | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld |
| | Heptacloro | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Epóxido de Heptacloro | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld |
| | α -Endosulfán | dld | dld | nd | nd | dld | nd | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | β -Endosulfán | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Sulfato de Endosulfán | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld |

nd= no detectado; dld= debajo del límite de detección.

RESULTADOS

Tabla 19. Concentración de OCs en agua (ng/ml) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto).

| | | Sitios | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Laguna | | | | | | | | Drenes | | | | | | |
| OCs | Compuesto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | A-HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | B-HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Γ-HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld |
| | Δ-HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| Derivados de Hidrocarburos Aromáticos | DDT | nd | dld | dld | nd | nd | nd | dld | nd | nd | nd | dld | dld | nd | nd | dld |
| | DDE | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | nd | dld | dld |
| | DDD | dld | nd | dld | dld | dld | nd | dld | dld | nd | dld | dld | nd | dld | dld | dld |
| | Metoxicloro | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| Derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | Aldrín | nd | nd | dld | nd | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Dieldrín | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | nd | dld | dld |
| | Endrín | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld |
| | Endrín aldehído | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Endrín cetona | dld | dld | dld | nd | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld |
| | Heptacloro | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Epóxido de Heptacloro | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | A-Endosulfán | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | B-Endosulfán | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Sulfato de Endosulfán | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |

nd= no detectado; dld= debajo del límite de detección.

Tabla 20. Concentración de OCs en agua (ng/ml) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje frío (marzo).

| | | Sitios | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Laguna | | | | | | | | Drenes | | | | | | |
| OCs | Compuesto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | A- HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | B- HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | γ-HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld |
| | δ-HCH | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| Derivados de Hidrocarburos Aromáticos | DDT | nd | nd | nd | nd | dld | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| | DDE | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | DDD | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Metoxicloro | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | nd | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld |
| Derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | Aldrín | dld | nd | nd | nd | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Dieldrín | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Endrín | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Endrín aldehído | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld |
| | Endrín cetona | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Heptacloro | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Epóxido de Heptacloro | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | α-Endosulfán | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | β-Endosulfán | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Sulfato de Endosulfán | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |

nd= no detectado; dld= debajo del límite de detección

8.7 OCs en sedimentos

8.7.1 Época de estiaje cálido (junio)

Los valores de concentración, la sumatoria, el promedio y la frecuencia de detección de los OCs en cada sitio se muestra en la Tabla 21 vale resaltar que los niveles totales más altos de OCs se registraron en los drenes estas altas concentraciones se deben a que por los drenes se conducen las descargas agrícolas del D.R. 063.

Los mayores niveles totales de OCs en la laguna se detectaron en los sitios 4, 1, 2 y 5, los cuales están ubicados muy cerca del Estero El Colorado, que podría estar recibiendo descargas agrícolas, excepto el sitio 2, el cual se encuentra en la parte noreste del sistema alejado de los drenes, en dicho sitio podría estar influyendo el comportamiento hidrológico, transportando los sedimentos provenientes del dren Novobampo como consecuencia de los fenómenos de marea, sin descartar un posible transporte atmosférico.

La mayor frecuencia de detección de los 18 OCs analizados, se encontró en los sitios 14, 15, 4, 6, 10, 11 y 8, los demás sitios de muestreo presentaron una frecuencia de detección menor del 50 %.

En la tabla 22 se presentan los valores promedio de los OCs, OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos, derivados de hidrocarburos aromáticos y derivados de hidrocarburos ciclodiénicos de los 15 sitios, de la laguna y de los drenes. También los valores mínimos, máximos, sumatoria, promedio, desviación estándar y frecuencia de detección de cada compuesto considerando los 15 sitios, lagunares y drenes. Los valores promedio se calcularon considerando únicamente los sitios en los cuales se registraron concentraciones de dichos compuestos.

Tabla 21. Concentración de OCs en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio).

| OCs | Compuesto | Sitios | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Laguna | | | | | | | | Drenes | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | α- HCH | 1.89 | 2.58 | 2.10 | 5.88 | 8.26 | 8.73 | nd | 1.53 | 0.49 | 13.09 | 37.42 | 6.99 | 20.19 | 41.26 | 6.44 |
| | β- HCH | 0.95 | 1.73 | 1.04 | 1.94 | 1.29 | 0.63 | nd | 0.81 | nd | 1.82 | 6.89 | 1.39 | 4.01 | 11.78 | 1.19 |
| | γ-HCH | 0.50 | nd | 0.44 | 0.90 | 0.35 | 1.39 | nd | 0.46 | nd | 1.14 | 5.33 | 0.46 | 1.69 | 7.65 | 2.77 |
| | δ-HCH | 0.30 | dld | dld | 0.71 | 1.27 | 1.92 | nd | 0.36 | dld | 25.05 | 70.23 | dld | 10.81 | 65.24 | 1.31 |
| | Suma | 3.63 | 4.30 | 3.58 | 9.43 | 11.17 | 12.67 | 0.00 | 3.17 | 0.49 | 41.09 | 119.87 | 8.84 | 36.70 | 125.94 | 11.71 |
| | Promedio | 0.91 | 2.15 | 1.19 | 2.36 | 2.79 | 3.17 | 0.00 | 0.79 | 0.49 | 10.27 | 29.97 | 2.95 | 9.17 | 31.48 | 2.93 |
| Derivados de Hidrocarburos Aromáticos | DDT | nd | nd | nd | nd | nd | nd | dld | nd | nd | dld | nd | nd | nd | nd | nd |
| | DDE | dld | 0.44 | dld | dld | nd | 0.60 | dld | dld | dld | dld | 0.78 | nd | dld | 0.61 | dld |
| | DDD | nd | nd | nd | nd | nd | dld | nd | nd | nd | dld | nd | nd | nd | nd | nd |
| | Metoxicloro | 4.38 | 7.33 | 0.95 | 10.79 | 6.71 | 2.96 | 0.58 | 0.89 | nd | 0.71 | 3.07 | 25.55 | 34.12 | 37.65 | 42.08 |
| | Suma | 4.38 | 7.77 | 0.95 | 10.79 | 6.71 | 3.56 | 0.58 | 0.89 | nd/dld | 0.71 | 3.86 | 25.55 | 34.12 | 38.26 | 42.08 |
| | Promedio | 4.38 | 3.88 | 0.95 | 10.79 | 6.71 | 1.78 | 0.58 | 0.89 | nd/dld | 0.71 | 1.93 | 25.55 | 34.12 | 19.13 | 42.08 |
| Derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | Aldrín | nd | nd | nd | nd | dld | nd | nd | nd | nd | dld | dld | dld | dld | nd | nd |
| | Dieldrín | nd | nd | dld | 0.46 | nd | dld | nd | nd | dld | 0.25 | nd | dld | nd | 0.39 | nd |
| | Endrín | 14.30 | nd | 6.81 | 12.43 | 3.86 | 2.14 | nd | 8.64 | nd | 0.73 | 1.92 | nd | 0.81 | 3.95 | 26.99 |
| | Endrín aldehído | dld | 0.35 | dld | nd | nd | 0.34 | dld | dld | nd | dld | dld | nd | nd | dld | 1.31 |
| | Endrín cetona | 0.73 | 8.67 | 1.68 | 0.28 | nd | 0.35 | 1.45 | 0.78 | nd | dld | 0.28 | nd | 9.81 | 4.18 | 3.73 |
| | Heptacloro | dld | dld | 0.79 | 2.20 | dld | dld | dld | 0.55 | dld | 3.25 | 17.07 | 2.39 | 5.43 | 17.92 | 3.93 |
| | Epóxido de Heptacloro | dld | dld | dld | dld | dld | 0.39 | nd | nd | nd | dld | dld | nd | dld | 0.61 | dld |
| | α-Endosulfán | dld | nd | dld | dld | nd | dld | nd | dld | dld | 0.21 | nd | nd | nd | 0.93 | 0.56 |
| | β-Endosulfán | nd | nd | 0.37 | 0.51 | nd | 0.25 | nd | dld | nd | dld | nd | nd | nd | 2.53 | nd |
| | Sulfato de Endosulfán | 1.43 | 0.88 | dld | 1.48 | nd | nd | nd | 1.67 | nd | dld | nd | nd | nd | nd | 9.41 |
| | Suma | 16.46 | 9.91 | 9.65 | 17.36 | 3.86 | 3.47 | 1.45 | 11.64 | nd/dld | 4.43 | 19.27 | 2.39 | 16.06 | 30.51 | 45.94 |
| | Promedio | 5.49 | 3.30 | 2.41 | 2.89 | 3.86 | 0.69 | 1.45 | 2.91 | nd/dld | 1.11 | 6.42 | 2.39 | 5.35 | 4.36 | 7.66 |
| OCs Totales | Suma Total | 24.47 | 21.98 | 14.18 | 37.58 | 21.74 | 19.70 | 2.03 | 15.70 | 0.49 | 46.24 | 142.99 | 36.77 | 86.87 | 194.71 | 99.72 |
| | Promedio | 3.06 | 3.14 | 1.77 | 3.42 | 3.62 | 1.79 | 1.02 | 1.74 | 0.49 | 5.14 | 15.89 | 7.35 | 10.86 | 14.98 | 9.07 |
| | Frecuencia de detección (%) | 44 | 39 | 44 | 61 | 33 | 61 | 11 | 50 | 6 | 50 | 50 | 28 | 44 | 72 | 61 |

nd= no detectado ; dld=debajo del límite de detección.

RESULTADOS

Tabla 22. Concentración de OCs (derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos) (ng/g peso seco) y frecuencia de detección en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio).

| Compuesto | Mínimo | Máximo | Σ OCs | Promedio | D.E. | Frecuencia de detección (%) | | Σ OCs lagunares | Promedio Lagunares | D.E. | Frecuencia de detección (%) | | Σ OCs drenes | Promedio Drenes | D.E. | Frecuencia de detección (%) | |
|-----------------------|--------|--------|--------|----------|--------|-----------------------------|---|-----------------|--------------------|--------|-----------------------------|---|--------------|-----------------|--------|---|--|
| α- HCH | 0.49 | 41.26 | 156.84 | 11.20 | 13.04 | 93 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | 30.98 | 4.43 | 3.14 | 9 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos Lagunares | 125.86 | 17.98 | 15.86 | 100 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos Drenes |
| β- HCH | 0.63 | 11.78 | 35.45 | 2.73 | 3.21 | 87 | | 8.37 | 1.20 | 0.48 | 88 | | 27.08 | 4.51 | 4.17 | 86 | |
| γ-HCH | 0.35 | 7.65 | 23.09 | 1.92 | 2.30 | 80 | | 4.04 | 0.67 | 0.40 | 75 | | 19.05 | 3.18 | 2.78 | 86 | |
| δ-HCH | 0.30 | 70.23 | 177.20 | 17.72 | 27.49 | 67 | | 4.57 | 0.91 | 0.68 | 63 | | 172.63 | 34.53 | 31.52 | 71 | |
| | | | | | | | 26.17 | | | | | 5.99 | | | | | 49.23 |
| DDT | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos Lagunares | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos Drenes |
| DDE | 0.44 | 0.78 | 2.43 | 0.61 | 0.14 | 27 | | 1.04 | 0.52 | 0.11 | 25 | | 1.39 | 0.70 | 0.12 | 29 | |
| DDD | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | |
| Metoxicloro | 0.58 | 42.08 | 177.77 | 12.70 | 15.20 | 93 | | 34.59 | 4.32 | 3.69 | 100 | | 143.19 | 23.86 | 17.88 | 86 | |
| | | | | | | | 12.87 | | | | | 4.45 | | | | | 24.10 |
| Aldrín | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos Lagunares | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos Drenes |
| Dieldrín | 0.25 | 0.46 | 1.10 | 0.37 | 0.11 | 20 | | 0.46 | 0.46 | | 13 | | 0.64 | 0.32 | 0.10 | 29 | |
| Endrín | 0.73 | 26.99 | 82.58 | 7.51 | 7.93 | 73 | | 48.18 | 8.03 | 4.74 | 75 | | 34.40 | 6.88 | 11.32 | 71 | |
| Endrín aldehído | 0.34 | 1.31 | 2.00 | 0.67 | 0.56 | 20 | | 0.69 | 0.34 | 0.01 | 25 | | 1.31 | 1.31 | | 14 | |
| Endrín cetona | 0.28 | 9.81 | 31.95 | 2.90 | 3.41 | 73 | | 13.95 | 1.99 | 2.99 | 88 | | 18.00 | 4.50 | 3.95 | 57 | |
| Heptacloro | 0.55 | 17.92 | 53.53 | 5.95 | 6.72 | 60 | | 3.54 | 1.18 | 0.89 | 38 | | 49.99 | 8.33 | 7.17 | 86 | |
| Epóxido de Heptacloro | 0.39 | 0.61 | 1.00 | 0.50 | 0.15 | 13 | | 0.39 | 0.39 | | 13 | | 0.61 | 0.61 | nd/dld | 14 | |
| α-Endosulfán | 0.21 | 0.93 | 1.70 | 0.57 | 0.36 | 20 | | 0.00 | | | 0 | | 1.70 | 0.57 | 0.36 | 43 | |
| β-Endosulfán | 0.25 | 2.53 | 3.65 | 0.91 | 1.08 | 27 | | 1.12 | 0.37 | 0.13 | 38 | | 2.53 | 2.53 | nd/dld | 14 | |
| Sulfato de Endosulfán | 0.88 | 9.41 | 14.88 | 2.98 | 3.61 | 33 | | 5.47 | 1.37 | 0.34 | 50 | | 9.41 | 9.41 | nd/dld | 14 | |
| | | | | | | | 13.74 | | | | | 9.23 | | | | | 19.77 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Promedio Total OCs estiaje cálido (junio) | 51.01 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | OCs laguna | 19.67 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | OCs drenes | 86.83 |

nd= no detectado; dld= debajo del límite de detección; ΣOCs=Sumatoria de OCs; D.E.= Desviación estándar.

En la Figura 26 se muestra la distribución espacial de las concentraciones promedio de los OCs durante la época de estiaje cálido.

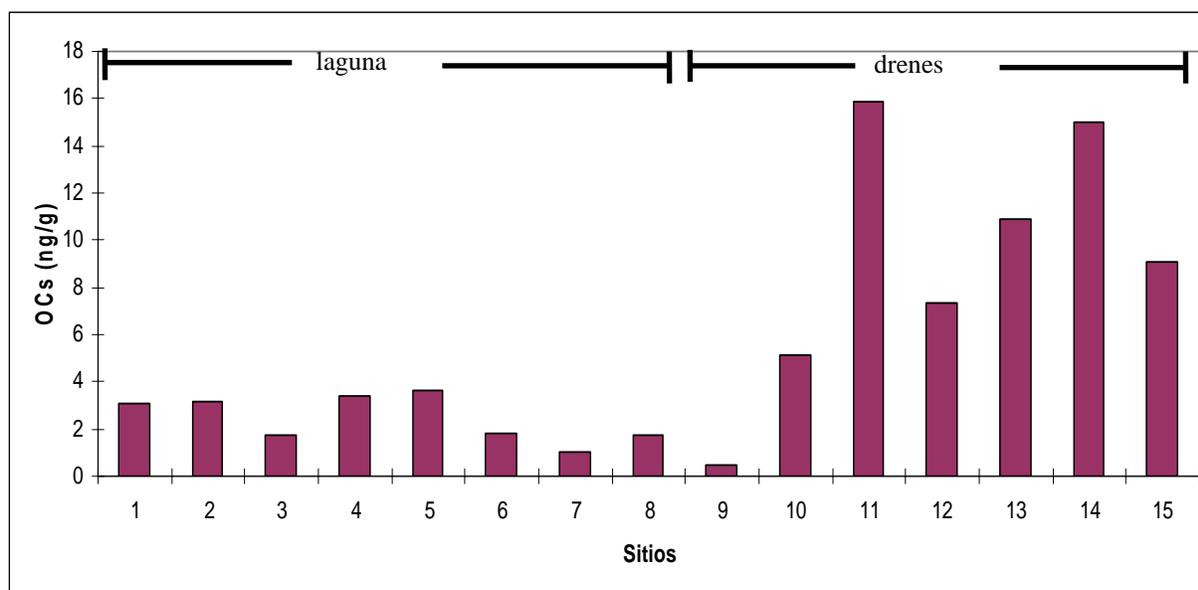


Figura 26. Distribución espacial de OCs en sedimentos del sistema Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio).

OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos

El valor promedio de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en el sistema (considerando los 15 sitios) durante la época de estiaje cálido (junio) fue el más elevado en comparación con los hidrocarburos aromáticos y ciclodiénicos. El valor promedio más alto fue el del δ -HCH, seguido en orden decreciente por el α -HCH, β -HCH y γ -HCH, siendo el α -HCH el compuesto con la mayor frecuencia de detección considerando los 15 sitios. La distribución espacial de los OCs derivados de los hidrocarburos alicíclicos se muestra en la Figura 27.

En la laguna el compuesto α -HCH tuvo el mayor valor promedio, seguido por β -HCH, δ -HCH y finalmente γ -HCH. Siendo el β -HCH el compuesto que presentó mayor frecuencia de detección en la laguna. A diferencia de la laguna, en los drenes la mayor concentración media fue la del compuesto δ -HCH. El único compuesto que tuvo una frecuencia de detección del 100% en los drenes fue el α -HCH.

Al analizar en forma porcentual los isómeros del HCH, el compuesto que registró mayor porcentaje fue el δ -HCH (45 %), seguido por el α -HCH (40 %), β -HCH (9 %) y finalmente el γ -HCH (6 %), lo cuál indica que en el sistema se ha utilizado el HCH grado técnico y no el lindano, ya que este último contiene casi el 99 % de γ -HCH, siendo el único isómero con fuertes propiedades insecticidas, en cambio la formulación del HCH grado técnico contiene cinco isómeros: α -HCH (60-70 %), β -HCH (5-12 %), γ -HCH (10-15 %), δ -HCH (6-10 %) y ϵ -HCH (3-4 %) (Walker *et al.*, 1999).

Al analizar la forma porcentual de cada isómero en la laguna, el α -HCH presentó mayor proporción con 65 %, seguido por β -HCH con 17 % y en los drenes el isómero con mayor porcentaje fue el δ -HCH con 50 %, seguido por el isómero α -HCH con 37 %. En la laguna el mayor porcentaje de α -HCH podría sugerir la aplicación reciente del HCH, sin embargo, es importante considerar que el γ -HCH puede ser fácilmente degradado y fotoquímicamente isomerizado a α -HCH (Malik *et al.*, 2007). El HCH grado técnico es la principal fuente en el ambiente de α -HCH, por lo que en este caso no se puede hablar con exactitud del tiempo que ha transcurrido desde su aplicación.

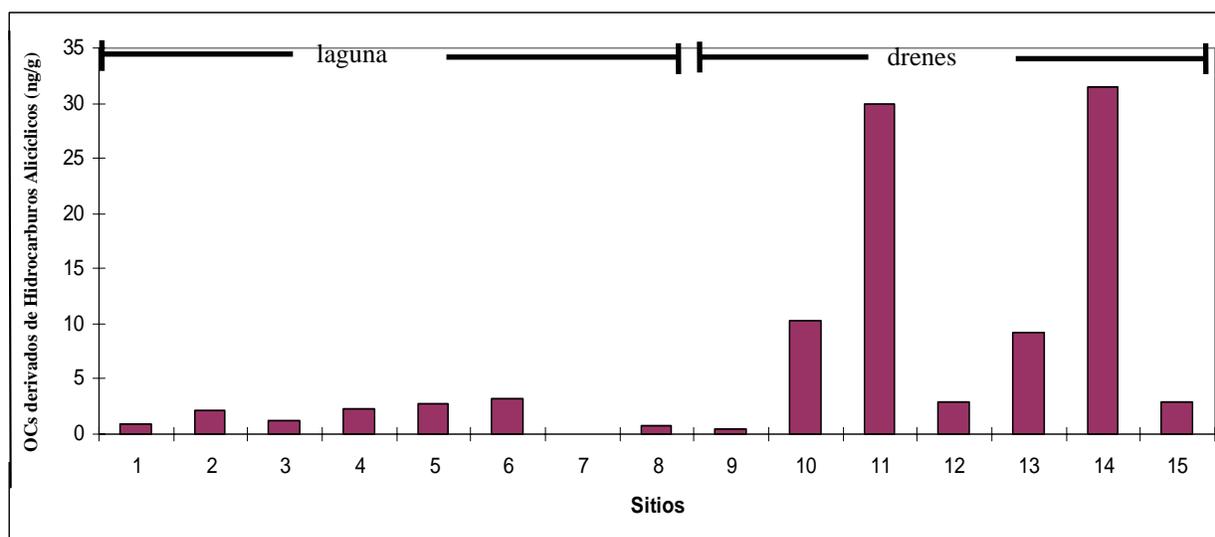


Figura 27. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época estiaje cálido (junio).

OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos

Los únicos compuestos detectados fueron el metoxicloro y el DDE, con una frecuencia de detección de 93 % y 27 % respectivamente.

El DDT al ser incorporado al sedimento, puede ser transformado a DDE bajo condiciones aeróbicas (Liu *et al.*, 2008). La detección de DDE sugiere que el uso del DDT en épocas pasadas se está degradando considerando que la vida media del DDT es de 3 a 10 años y la del DDE es de 10 a 30 años (Hwang *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2005b), dado que la mayor concentración de DDE se registró en los sitios de drenes, es factible que el DDT aplicado a los campos de cultivo del D.R. 063 a través de las escorrentías haya sido transportado hacia la laguna.

El metoxicloro, presentó una frecuencia de detección en la laguna del 100 %, mientras que en los drenes su frecuencia fue del 86 %.

En la Figura 28 se muestra la distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos.

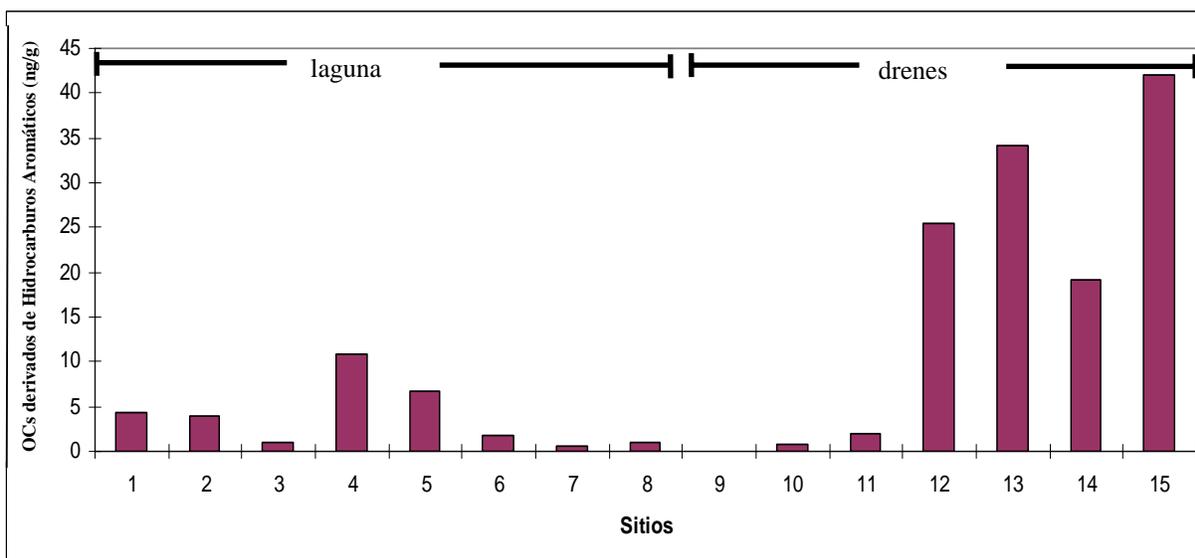


Figura 28. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio).

OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos

El valor promedio de los OCs derivados de los hidrocarburos ciclodiénicos en el sistema (laguna y drenes) fue de 13.74 ng/g (Tabla 21).

El valor promedio más alto de los drínes fue el endrín, seguido en orden decreciente por endrín cetona, endrín aldehído y diendrín. El aldrín no fue detectado o estuvo por debajo del límite de detección.

El endrín al ser el compuesto con mayor valor promedio, indica que ha habido aplicaciones a lo largo del tiempo y recientes de este plaguicida. Siendo el endrín y el endrín cetona detectados con mayor frecuencia en los sitios de muestreo.

La concentración media del heptacloro en el sistema y su frecuencia de detección fue mayor que la de su epóxido. El heptacloro al tener una concentración mayor que su epóxido, que es su forma ya degradada, hace suponer una aplicación reciente (Rueda, 1997).

Del grupo del endosulfán, el sulfato de endosulfán presentó el mayor valor promedio en el sistema (laguna y drenes), seguido en orden decreciente por el β -endosulfán y α -endosulfán. En todos los sitios de muestreo el porcentaje de frecuencia de detección del sulfato de endosulfán fue del 33 %, seguido por el β -endosulfán y α -endosulfán. La mayor concentración de endosulfán sulfato comparada con α y β -endosulfán sugiere una aplicación antigua (Rueda, 1997).

En la laguna el endrín tuvo el valor promedio más alto, seguido por endrín cetona, diendrín y finalmente el endrín aldehído. La mayor frecuencia de detección corresponde al endrín cetona, seguido por endrín, endrín aldehído y diendrín.

El valor promedio en la laguna del heptacloro y la frecuencia de detección fueron mayores que los de su epóxido.

En lo referente al endosulfán, el sulfato de endosulfán presentó el mayor valor promedio seguido por el β -endosulfán, mientras que el α -endosulfán no fue detectado o estuvo por debajo del límite

de detección. La frecuencia de detección en la laguna del sulfato de endosulfán fue del 50 % y la frecuencia de detección del β -endosulfán fue del 38 %.

En los drenes del grupo de los drínes el endrín presentó el mayor valor promedio, seguido en orden decreciente por endrín cetona, endrín aldehído y dieldrín. El aldrín no fue detectado o estuvo por debajo del límite de detección. El endrín tuvo la mayor frecuencia de detección, seguido por el endrín cetona, dieldrín y endrín aldehído.

El valor promedio de la concentración y la frecuencia de detección del heptacloro en los drenes fueron mayores que los de su epóxido.

Con respecto al endosulfán, el valor promedio mayor en los drenes fue el del sulfato de endosulfán, seguido del β -endosulfán y el α -endosulfán. Este último presentó la mayor frecuencia de detección.

Al analizar en forma porcentual las proporciones en que se presentaron cada uno de sus compuestos con su respectivos metabolitos en todo el sistema (laguna y drenes), durante la época de estiaje cálido (junio), se observó que de los drínes el endrín mostró el porcentaje más alto con 70 %, siguiéndole en orden decreciente, endrín cetona con 27 %, endrín aldehído con 2 % y dieldrín con 1 %. Resultado sorprendente dado que la aplicación de estos compuestos está prohibida desde hace años (CICOPLAFEST, 2004).

La forma porcentual de las proporciones en el sistema, durante la época de estiaje cálido (junio) del heptacloro y su epóxido fue 98 % y 2 % respectivamente. En los sitios lagunares, la proporción fue 90 % y 10 %, respectivamente. En los sitios de drenes 99 % y 1 %, respectivamente. Esto indica el uso reciente en el sistema a pesar de que ha sido prohibido en algunos países desarrollados y en vías de desarrollo como México (Rueda, 1997).

En el sistema (laguna y drenes) el sulfato de endosulfán presentó la mayor proporción porcentual con 74 %, seguido por β -endosulfán con 18 % y α -endosulfán con 8 %. El sulfato de endosulfán es producto de la oxidación del endosulfán, lo que sugiere degradación activa.

En la Figura 29 se muestra la distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos.

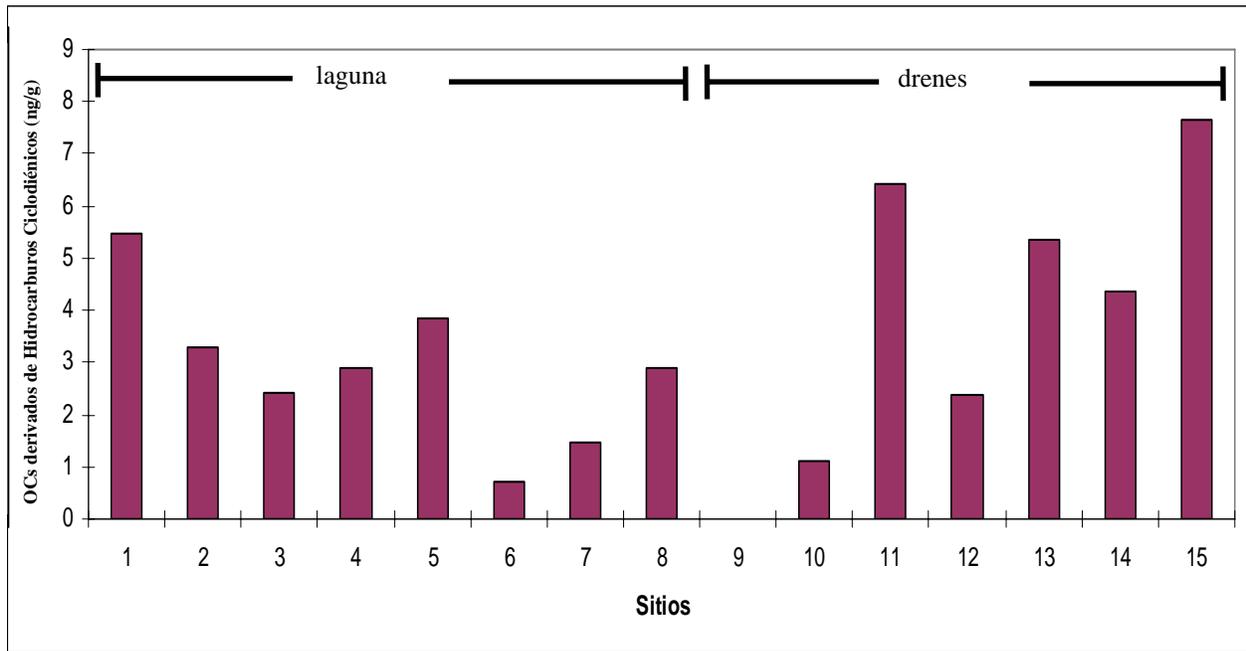


Figura 29. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje cálido (junio).

En la Tabla 23 se muestran los coeficientes de correlación (r) usados como herramienta exploratoria, obtenidos en la época de estiaje cálido entre los tamaños granulométricos, el COT y los OCs, OCs derivados de los hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos, cabe resaltar que se obtuvieron coeficientes de correlación significativos entre los OCs (considerando los 15 sitios) y las arenas, limos, arcillas y limos-arcillas. En el caso de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos (considerando los 15 sitios) se obtuvieron coeficientes de correlación significativos con las arenas, limos y limos-arcillas. Este mismo grupo en los drenes presentó coeficientes de correlación significativos con arenas y limos-arcillas. Finalmente, los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos (considerando los 15 sitios) presentaron valores de correlación significativa con los limos.

Tabla 23. Coeficientes de correlación (r) en la época de estiaje cálido (junio).

| | gravas | arenas | limos | arcillas | limos y arcillas | COT |
|--|--------|--------------|-------------|-------------|------------------|-------|
| OCs (totales) | -0.17 | -0.63 | 0.62 | 0.52 | 0.65 | -0.16 |
| OCs (laguna) | -0.27 | 0.55 | -0.41 | -0.43 | -0.42 | -0.63 |
| OCs (drenes) | 0.01 | -0.06 | 0.07 | -0.05 | 0.06 | 0.04 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (totales) | -0.11 | -0.43 | 0.37 | 0.46 | 0.44 | -0.14 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (laguna) | 0.55 | 0.03 | -0.41 | -0.37 | -0.40 | -0.44 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (drenes) | -0.31 | 0.46 | -0.33 | 0.06 | -0.46 | -0.10 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (totales) | -0.07 | -0.73 | 0.77 | 0.39 | 0.73 | -0.02 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (laguna) | -0.22 | 0.22 | -0.06 | -0.16 | -0.09 | -0.30 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (drenes) | 0.62 | -0.92 | 0.73 | -0.20 | 0.93 | 0.28 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (totales) | -0.29 | -0.41 | 0.55 | 0.05 | 0.45 | -0.26 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (laguna) | -0.60 | 0.62 | -0.26 | -0.27 | -0.26 | -0.57 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (drenes) | 0.63 | -0.63 | 0.73 | -0.55 | 0.60 | 0.04 |

P<0.05; coeficientes de correlación significativos se muestran en negritas.

8.7.2 Época de lluvias (agosto)

Los valores de concentración, la sumatoria, el promedio y la frecuencia de detección de los OCs en cada sitio se muestran en la Tabla 24, cabe resaltar que en esta época se registraron las concentraciones más altas de OCs en los sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule.

Las mayores frecuencias de detección de OCs fueron en los sitios 9, 10 y 7.

En la Tabla 25 se presentan los valores promedio de los OCs, OCs derivados de los hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos de los 15 sitios, de la laguna y de los drenes. También los valores mínimos, máximos, sumatoria, promedio, desviación estándar y frecuencia de detección de cada compuesto.

El valor promedio de OCs, fue calculado considerando únicamente los sitios en los que se registraron OCs. El valor promedio de OCs en el sistema (laguna y drenes) fue de 64.97 ng/g, registrándose los mayores valores en los drenes, siendo el β -HCH el compuesto con mayor concentración.

En la Figura 30 se muestra la distribución espacial de la concentración promedio de los OCs durante la época de lluvias (agosto).

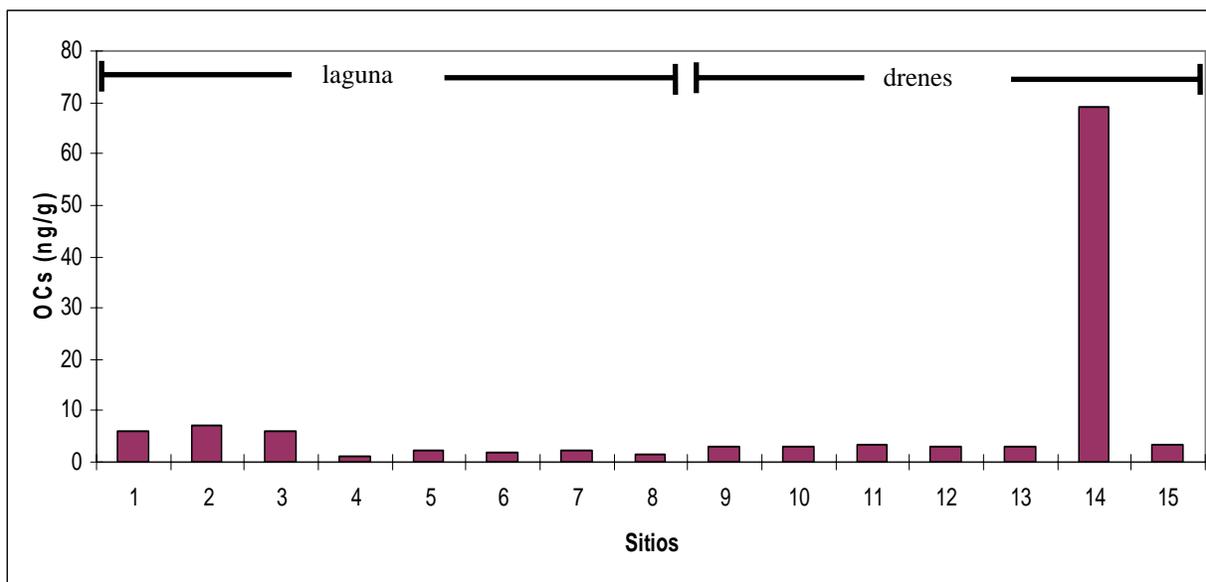


Figura 30. Distribución espacial de OCs en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule en la época de lluvias (agosto).

RESULTADOS

Tabla 24. Concentración de OCs en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto).

| OCs | Compuesto | Sitios | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
| | | Laguna | | | | | | | | Drenes | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | α- HCH | dld | 3.52 | 0.43 | 0.38 | 0.49 | 5.52 | 5.21 | 0.51 | 1.83 | 2.38 | 0.49 | 4.23 | dld | 0.75 | 1.59 |
| | β- HCH | 5.78 | 0.72 | dld | dld | 3.20 | 0.83 | 1.50 | 3.09 | 1.30 | 0.95 | dld | 1.17 | dld | 533.25 | 1.95 |
| | γ-HCH | 0.42 | 0.48 | dld | nd | 1.35 | 0.47 | 0.87 | 1.11 | 0.62 | 0.80 | 0.36 | 0.52 | dld | nd | 0.98 |
| | δ-HCH | 3.44 | 13.21 | dld | nd | 1.08 | 2.28 | 2.85 | 3.36 | 2.13 | 1.24 | 1.09 | 1.32 | 3.85 | nd | 1.53 |
| | Suma | 9.65 | 17.93 | 0.43 | 0.38 | 6.12 | 9.11 | 10.43 | 8.08 | 5.88 | 5.37 | 1.93 | 7.24 | 3.85 | 534.00 | 6.06 |
| | Promedio | 3.22 | 4.48 | 0.43 | 0.38 | 1.53 | 2.28 | 2.61 | 2.02 | 1.47 | 1.34 | 0.64 | 1.81 | 3.85 | 267.00 | 1.51 |
| Derivados de Hidrocarburos Aromáticos | DDT | nd | nd | nd | nd | nd | 0.90 | 1.78 | 0.59 | nd | 1.37 | 1.12 | nd | dld | dld | dld |
| | DDE | nd | nd | dld | 0.80 | nd | dld | 1.66 | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld |
| | DDD | nd | nd | nd | nd | dld | nd | nd | nd | 0.51 | 0.56 | 0.59 | nd | dld | dld | nd |
| | Metoxicloro | 26.58 | 31.87 | 16.71 | nd | nd | 1.14 | 4.64 | 3.93 | 6.30 | 27.36 | 25.09 | 11.12 | 14.18 | 14.11 | 9.59 |
| | Suma | 26.58 | 31.87 | 16.71 | 0.80 | nd/dld | 2.04 | 8.08 | 4.52 | 6.81 | 29.29 | 26.80 | 11.12 | 14.18 | 14.11 | 9.59 |
| | Promedio | 26.58 | 31.87 | 16.71 | 0.80 | nd/dld | 1.02 | 2.69 | 2.26 | 3.40 | 9.76 | 8.93 | 11.12 | 14.18 | 14.11 | 9.59 |
| Derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | Aldrín | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | 0.58 | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| | Dieldrín | nd | nd | nd | nd | nd | dld | 1.54 | 0.34 | 2.50 | 1.13 | 0.54 | 2.04 | 0.36 | 0.35 | 1.35 |
| | Endrín | 8.50 | nd | nd | nd | 7.81 | 1.24 | 1.19 | 0.66 | 19.72 | 0.84 | 1.99 | 4.64 | 1.11 | 0.88 | 10.56 |
| | Endrín aldehído | 0.67 | nd | nd | 0.38 | nd | nd | 1.38 | dld | 1.06 | dld | dld | 0.26 | dld | 0.27 | dld |
| | Endrín cetona | 1.64 | 0.38 | 0.34 | 3.03 | nd | dld | 3.92 | 1.93 | 1.07 | 3.78 | 4.57 | 0.90 | 1.23 | 2.41 | 4.01 |
| | Heptacloro | 0.37 | 0.57 | dld | nd | dld | dld | dld | dld | 0.42 | 0.46 | dld | 0.61 | dld | dld | 0.72 |
| | Epóxido de Heptacloro | dld | nd | nd | nd | dld | dld | 0.47 | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | α-Endosulfán | nd | nd | nd | 0.22 | 0.20 | dld | 2.80 | 0.17 | 1.01 | 0.45 | 0.28 | 0.54 | 0.19 | dld | 0.25 |
| | β-Endosulfán | nd | nd | nd | nd | dld | dld | dld | dld | 0.37 | 0.40 | dld | 1.55 | 0.24 | dld | 1.45 |
| | Sulfato de Endosulfán | nd | nd | nd | 0.96 | 1.09 | 1.71 | 2.10 | nd | 4.29 | 1.80 | 1.44 | 7.81 | 1.71 | 1.36 | 4.39 |
| | Suma | 11.18 | 0.96 | 0.34 | 4.59 | 9.09 | 2.95 | 13.42 | 3.68 | 30.45 | 8.86 | 8.82 | 18.36 | 4.85 | 5.27 | 22.74 |
| | Promedio | 2.79 | 0.48 | 0.34 | 1.15 | 3.03 | 1.48 | 1.92 | 0.74 | 3.81 | 1.27 | 1.76 | 2.30 | 0.81 | 1.05 | 3.25 |
| OCs Totales | Suma Total | 47.40 | 50.76 | 17.48 | 5.77 | 15.21 | 14.11 | 31.93 | 16.28 | 43.13 | 43.51 | 37.55 | 36.72 | 22.88 | 553.38 | 38.38 |
| | Promedio | 5.93 | 7.25 | 5.83 | 0.96 | 2.17 | 1.76 | 2.28 | 1.48 | 3.08 | 3.11 | 3.41 | 2.82 | 2.86 | 69.17 | 3.20 |
| | Frecuencia de detección (%) | 44.44 | 38.89 | 16.67 | 33.33 | 38.89 | 44.44 | 77.78 | 61.11 | 77.78 | 77.78 | 61.11 | 72.22 | 44.44 | 44.44 | 66.67 |

nd=no detectado; dld= debajo del límite de detección

RESULTADOS

Tabla 25. Concentración de OCs (derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos) (ng/g peso seco) y frecuencia de detección en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto).

| Compuesto | Mínimo | Máximo | Σ OCs | Promedio OCs | D.E | Frecuencia de detección (%) | | Σ OCs lagunares | Promedio Lagunares | D.E | Frecuencia de detección (%) | | Σ OCs drenes | Promedio Drenes | D.E | Frecuencia de detección (%) | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------------|--------|-----------------------------|---|-----------------|--------------------|--------|-----------------------------|---|--------------|-----------------|--------|-------------------------------------|--|
| α- HCH | 0.38 | 5.52 | 27.32 | 2.10 | 1.91 | 87 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | 16.05 | 2.29 | 2.38 | 88 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos Lagunares | 11.27 | 1.88 | 1.35 | 86 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos Drenes |
| β- HCH | 0.72 | 533.25 | 553.74 | 50.34 | 160.17 | 73 | | 15.13 | 2.52 | 1.93 | 75 | | 538.62 | 107.72 | 237.87 | 71 | |
| γ-HCH | 0.36 | 1.35 | 8.00 | 0.73 | 0.32 | 73 | | 4.72 | 0.79 | 0.39 | 75 | | 3.28 | 0.66 | 0.24 | 71 | |
| δ-HCH | 1.08 | 13.21 | 37.39 | 3.12 | 3.33 | 80 | | 26.23 | 4.37 | 4.42 | 75 | | 11.16 | 1.86 | 1.04 | 86 | |
| | | | | | | | 41.76 | | | | | 7.77 | | | | | 80.62 |
| DDT | 0.59 | 1.78 | 5.77 | 1.15 | 0.45 | 33 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos | 3.27 | 1.09 | 0.62 | 38 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos Lagunares | 2.49 | 1.25 | 0.18 | 29 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos Drenes |
| DDE | 0.80 | 1.66 | 2.46 | 1.23 | 0.61 | 13 | | 2.46 | 1.23 | 0.61 | 25 | | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | |
| DDD | 0.51 | 0.59 | 1.66 | 0.55 | 0.04 | 20 | | nd | nd | nd/dld | nd/dld | | 1.66 | 0.55 | 0.04 | 43 | |
| Metoxicloro | 1.14 | 31.87 | 192.61 | 14.82 | 10.08 | 87 | | 84.87 | 14.15 | 12.96 | 75 | | 107.74 | 15.39 | 7.91 | 100 | |
| | | | | | | | 14.46 | | | | | 12.94 | | | | | 15.98 |
| Aldrín | nd | 0.58 | 0.58 | 0.58 | | 7 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | 0.58 | 0.58 | | 13 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos Lagunares | nd | nd | nd | nd | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos Drenes |
| Dieldrín | 0.34 | 2.50 | 10.16 | 1.13 | 0.80 | 60 | | 1.88 | 0.94 | 0.85 | 25 | | 8.28 | 1.18 | 0.85 | 100 | |
| Endrín | 0.66 | 19.72 | 59.15 | 4.93 | 5.83 | 80 | | 19.40 | 3.88 | 3.92 | 63 | | 39.75 | 5.68 | 7.10 | 100 | |
| Endrín aldehído | 0.26 | 1.38 | 4.01 | 0.67 | 0.46 | 40 | | 2.43 | 0.81 | 0.52 | 38 | | 1.58 | 0.53 | 0.46 | 43 | |
| Endrín cetona | 0.34 | 4.57 | 29.22 | 2.25 | 1.47 | 87 | | 11.25 | 1.87 | 1.42 | 75 | | 17.97 | 2.57 | 1.55 | 100 | |
| Heptacloro | 0.37 | 0.72 | 3.16 | 0.53 | 0.13 | 40 | | 0.95 | 0.47 | 0.14 | 25 | | 2.21 | 0.55 | 0.14 | 57 | |
| Epóxido de Heptacloro | nd/dld | 0.47 | 0.47 | 0.47 | | 7 | | 0.47 | 0.47 | | 13 | | dld | dld | dld | dld | |
| α-Endosulfán | 0.17 | 2.80 | 6.12 | 0.61 | 0.81 | 67 | | 3.39 | 0.85 | 1.30 | 50 | | 2.72 | 0.45 | 0.30 | 86 | |
| β-Endosulfán | 0.24 | 1.55 | 4.02 | 0.80 | 0.64 | 33 | | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | | 4.02 | 0.80 | 0.64 | 71 | |
| Sulfato de Endosulfán | 0.96 | 7.81 | 28.67 | 2.61 | 2.09 | 73 | 5.86 | 1.47 | 0.54 | 50 | 22.80 | 3.26 | 2.40 | 100 | | | |
| | | | | | | | 9.70 | | | | | 5.78 | | | | | 14.19 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Promedio Total OCs lluvias (agosto) | 64.97 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | OCs laguna | 24.87 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | OCs drenes | 110.79 |

nd= no detectado; dld= debajo del límite de detección; ΣOCs=Sumatoria de OCs; D.E.= Desviación estándar

OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos

El valor promedio de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en el sistema (laguna y drenes) fue 41.76 ng/g. El valor promedio más elevado fue el del compuesto β -HCH, presentando una concentración máxima en el sitio 14.

El compuesto registrado con mayor frecuencia en el sistema fue α -HCH seguido por δ -HCH y finalmente β -HCH y γ -HCH.

En la laguna, el δ -HCH registró el mayor valor promedio, seguido por los compuestos: β -HCH, α -HCH y γ -HCH. El α -HCH se registró en el 88 % de los sitios lagunares y los demás compuestos en el 75 % de éstos.

El valor promedio en los drenes fue 80.62 ng/g, siendo el compuesto β -HCH el de mayor valor promedio de concentración, seguido en orden decreciente por los siguientes compuestos: α -HCH, δ -HCH y γ -HCH.

Al analizar en forma porcentual las proporciones en que se presentaron los isómeros de los hidrocarburos alicíclicos, en los sitios de drenes, el metabolito con mayor proporción fue el β -HCH con 95 %. Este metabolito tiene un porcentaje de 5-12 % en la mezcla del HCH, siendo el isómero más persistente en el ambiente por su baja presión de vapor, además se degrada lentamente en comparación con los demás HCHs, esto indica que la aplicación de la mezcla de HCH no fue reciente, por lo que se trata de una contaminación histórica (Gao, *et al.*, 2008). Ésto se observa también en la laguna, donde el isómero con mayor porcentaje fue el isómero δ -HCH con 44 % e indica contaminación histórica.

En la Figura 31 se muestra la distribución espacial de los hidrocarburos alicíclicos en la época de lluvias (agosto).

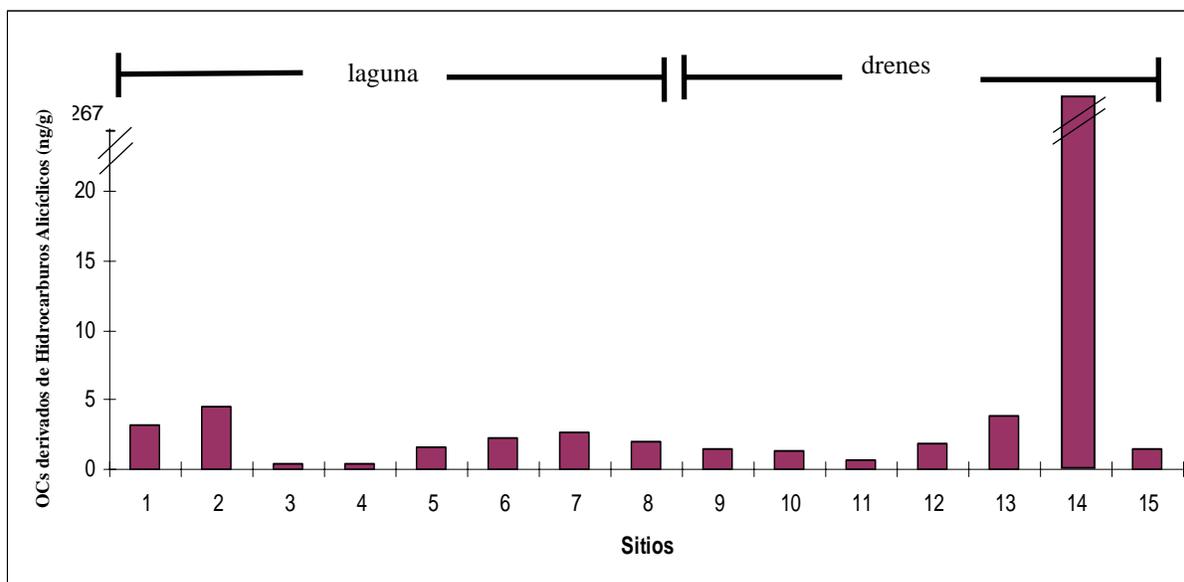


Figura 31. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto).

OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos

El valor promedio de los OCs derivados de los hidrocarburos aromáticos en el sistema (laguna y drenes) fue 14.46 ng/g. De este grupo, el compuesto que presentó mayor valor promedio fue el metoxicloro, seguido en orden decreciente por DDE, DDT y DDD. El metoxicloro tuvo la mayor frecuencia de detección de los hidrocarburos aromáticos en el sistema.

En la laguna, el metoxicloro registro el mayor valor promedio y la mayor frecuencia de detección. El DDD en los sitios lagunares no se detecto o estuvo por debajo del límite de detección.

El mayor valor promedio en los drenes también corresponde al metoxicloro, seguido en orden decreciente por DDT y DDD. El DDE no fue detectado o estuvo por debajo del límite de detección. Siendo el metoxicloro el único compuesto en los drenes con una frecuencia de detección del 100 %.

Al analizar en forma porcentual las proporciones en que se presentaron el DDT y sus metabolitos en la laguna, el DDT mostró el porcentaje más alto con 57 %, seguido por el DDE con 43 % y

finalmente el DDD no fue detectado o estuvo por debajo del límite de detección. Estos valores denotan el uso del DDT, considerando que las formas predominantes del producto técnico son 80-85 % p,p'-DDT, 15-20 % o,p'-DDT. Y que el p,p'-DDT puede ser degradado a p,p'-DDE y p,p'-DDD bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas, respectivamente (Lee *et al.*, 2001).

Sí la proporción de DDE/DDT y (DDE+DDD)/DDT es mayor de 1 y de 0.5 respectivamente, sugiere una acumulación histórica de DDT, a través del largo tiempo de degradación (Liu *et al.*, 2008), sin embargo, en este caso, los valores considerando los 15 sitios fueron 0.4 y 0.7 respectivamente, sugiriendo contaminación histórica y una posible aplicación reciente, dado que el valor de la proporción (DDE+DDD)/DDT es mayor a 0.5. En la laguna, los valores de proporción entre el DDE/DDT fue de 0.8, y el valor (DDE+DDD)/DDT de 0.8, indicando degradación principalmente aeróbica, el valor obtenido de (DDE+DDD)/DDT en los sitios lagunares es mayor a 0.5, indicando una posible aplicación, sin poder saber cuánto tiempo ha transcurrido desde su aplicación. En los sitios de drenes, el DDE no se detectó o estuvo por debajo de los límites de detección, sin embargo sí se registró DDD y DDT, este último en mayor proporción, lo que sugiere el uso de este compuesto en los campos de cultivo del D.R. 063, sin poder definir el tiempo que ha pasado desde su aplicación.

La distribución espacial de los OCs derivados de los OCs derivados de los hidrocarburos aromáticos se muestra en la Figura 32.

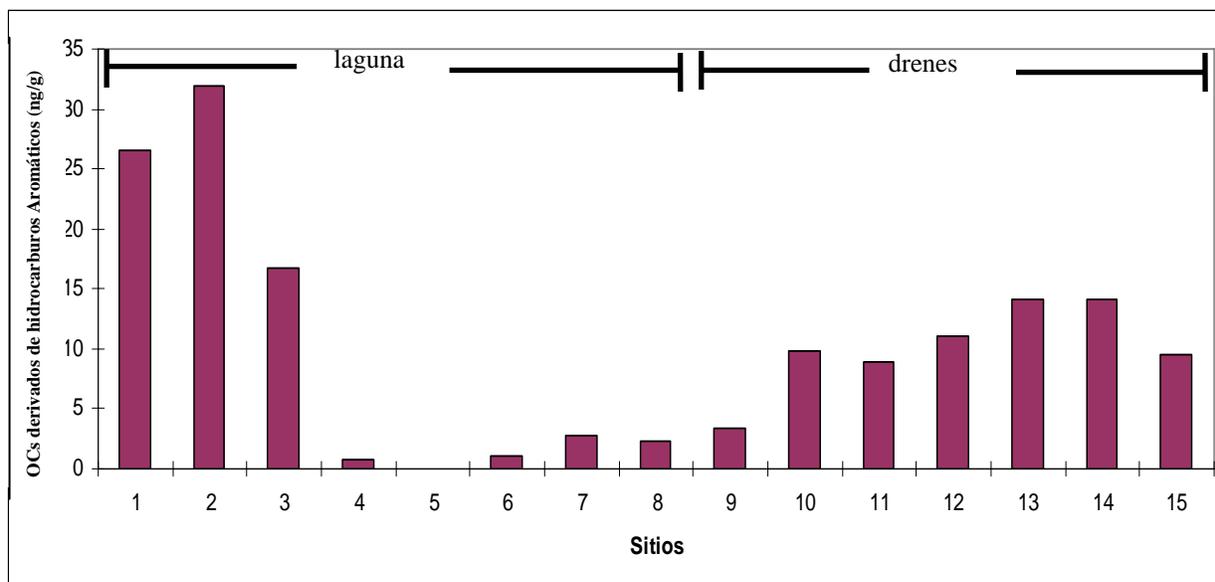


Figura 32. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, durante la época de lluvias.

OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos

El valor promedio de la concentración de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos en el sistema fue 9.70 ng/g.

Del grupo de los drínes, el endrín presentó el mayor valor promedio, seguido por endrín cetona, diendrín, endrín aldehído y aldrín. El endrín cetona fue el compuesto con mayor frecuencia de detección en el sistema con 87 %, seguido por endrín, diendrín, endrín aldehído y aldrín.

El heptacloro tuvo un valor promedio y frecuencia de detección mayor que su epóxido.

En lo referente al endosulfán, el sulfato de endosulfán tuvo el mayor valor promedio, seguido por β -endosulfán, α -endosulfán. El sulfato de endosulfán presentó la mayor frecuencia de detección en el sistema, seguido por el α -endosulfán y finalmente el β -endosulfán.

En la laguna del grupo de los drínes, el endrín tuvo el mayor valor promedio, seguido del endrín cetona, diendrín, endrín aldehído y aldrín. Siendo el endrín cetona el compuesto con la mayor frecuencia de detección en dichos sitios.

La frecuencia de detección del heptacloro en la laguna fue mayor que la de su epóxido.

El sulfato de endosulfán y el α -endosulfán tuvieron una frecuencia de detección del 50 % en la laguna. El β -endosulfán no fue detectado o estuvo por debajo del límite de detección.

En los drenes, del grupo de los drínes el endrín tuvo el mayor valor promedio de concentración. El endrín cetona, endrín y diendrín tuvieron una frecuencia de detección del 100 %. El aldrín no fue detectado o estuvo por debajo del límite de detección.

Respecto al endosulfán, el que tuvo mayor valor promedio de concentración fue el sulfato de endosulfán con una frecuencia de detección del 100 % en los drenes.

Al analizar en forma porcentual las proporciones de los compuestos y sus metabolitos en todo el sistema (sitios lagunares y de drenes), se observó que de los drínes, el endrín mostró el porcentaje más alto con 57 %, seguido por el endrín cetona con 28 %, diendrín 10 %, endrín aldehído con 4 % y aldrín con 1 %, lo que indica uso constante de este plaguicida aún cuando esta prohibido por la CICOPLAFEST (2004).

La proporción porcentual del heptacloro y su metabolito en el sistema, fue de 87 % y 13 %, respectivamente, en la laguna la proporción porcentual del heptacloro fue de 67 % y su epóxido de 33 %, en los drenes el heptacloro registró el 100 %, por lo que se deduce que es utilizado en forma constante en el D.R. 063.

La porción porcentual del endosulfán y sus metabolitos, el sulfato de endosulfán presentó el mayor porcentaje con 74 % en el sistema (laguna y drenes), lo que sugiere aplicaciones no recientes o una activa degradación del mismo, este isómero es producto de degradación, producido por la oxidación del endosulfán, resultando un producto sumamente tóxico (Botello *et al.*, 2000).

En la Figura 33 se muestra la distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos durante la época de lluvias (agosto).

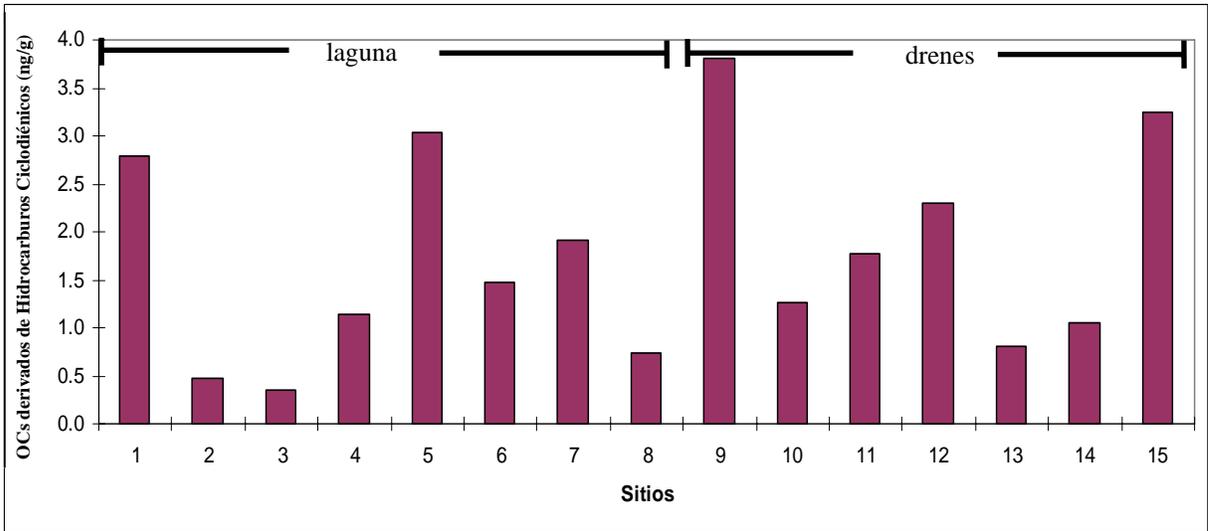


Figura 33. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de lluvias (agosto).

En la Tabla 26 se muestran los coeficientes de correlación obtenidos en la época de lluvias (agosto), utilizados como herramienta exploratoria, cabe resaltar que se obtuvieron únicamente coeficientes de correlación significativos entre los OCs lagunares, OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en todo el sistema y en la laguna con el COT.

Tabla 26. Coeficientes de correlación (r) en la época de lluvias (agosto).

| | gravas | arenas | limos | arcillas | limos y arcillas | COT |
|--|--------|--------|-------|----------|------------------|--------------|
| OCs (totales) | -0.20 | -0.19 | 0.27 | 0.18 | 0.24 | -0.31 |
| OCs (laguna) | -0.57 | 0.54 | -0.38 | -0.36 | -0.37 | -0.88 |
| OCs (drenes) | 0.00 | 0.02 | 0.26 | -0.22 | -0.02 | -0.26 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (totales) | -0.16 | -0.23 | 0.29 | 0.20 | 0.26 | -0.25 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (laguna) | -0.15 | 0.29 | -0.33 | -0.23 | -0.30 | -0.49 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (drenes) | 0.00 | 0.02 | 0.24 | -0.21 | -0.02 | -0.27 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (totales) | -0.41 | 0.43 | -0.34 | -0.18 | -0.28 | -0.63 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (laguna) | -0.56 | 0.66 | -0.57 | -0.50 | -0.55 | -0.94 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (drenes) | 0.00 | -0.11 | -0.45 | 0.42 | 0.11 | -0.01 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (totales) | -0.07 | -0.21 | 0.24 | 0.16 | 0.21 | -0.10 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (laguna) | 0.13 | 0.05 | -0.21 | -0.02 | -0.15 | 0.26 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (drenes) | 0.00 | -0.17 | 0.58 | -0.37 | 0.17 | -0.34 |

P<0.05; coeficientes de correlación significativos se muestran en negritas.

8.7.3 Época de estiaje frío (marzo)

Los valores de concentración, la sumatoria, el promedio y la frecuencia de detección de los OCs en cada sitio se muestra en la tabla 27, cabe resaltar que los niveles totales más elevados de OCs se registraron en el sitio 14, seguido por el sitio 1 y 15. Los sitios 14 y 15 corresponden a drenes, por lo que esas concentraciones provienen de las descargas agrícolas, la concentración de OCs detectados en el sitio 1, posiblemente se debe a sedimentos transportados como consecuencia de las corrientes y de la marea. El mayor porcentaje de frecuencia de detección de los 18 OCs se registró en el sitio 14, seguido por el sitio 10 y 13.

En la tabla 28 se presentan los valores promedio de los OCs, OCs derivados de los hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos de los 15 sitios, de la laguna y de los drenes. También los valores mínimos, máximos, sumatoria, promedio, desviación estándar y frecuencia de detección de cada compuesto. El valor promedio de OCs fue calculado, considerando únicamente los sitios

en los que se presentaron concentraciones de OCs. En todo el sistema el valor promedio fue de 16.39 ng/g. Cabe mencionar que para la obtención de estos promedios se excluyó la estación 9 ya que se registraron valores de hidrocarburos aromáticos muy elevados, el valor promedio de concentración de dichos hidrocarburos en este sitio fue 1,772.35 ng/g, con un valor promedio de concentración de DDT de 6,689.3 ng/g, DDE de 26.7 ng/g, DDD de 368.9 ng/g y metoxicloro de 4.3 ng/g, se puede suponer que estas altas concentraciones se deben al dragado y remoción de sedimento de los drenes, lo cuál provocó estas altas concentraciones en sedimentos superficiales.

RESULTADOS

Tabla 27. Concentración de OCs en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, época de estiaje frío (marzo).

| | | Sitios | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | Laguna | | | | | | | | Drenes | | | | | |
| OCs | Compuesto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | α- HCH | 2.03 | 0.32 | 1.28 | 3.42 | 1.29 | 0.77 | 0.71 | 2.81 | 2.65 | 2.32 | 1.91 | 0.79 | 2.49 | 3.26 |
| | β- HCH | 0.67 | 2.30 | 0.82 | 1.19 | 0.75 | 7.41 | 0.45 | 0.92 | 0.92 | 1.31 | 2.12 | 0.34 | 1.76 | 1.05 |
| | γ-HCH | 1.47 | 0.87 | 1.61 | 2.00 | 1.35 | 1.46 | 0.46 | 1.20 | 1.39 | 1.49 | 0.93 | 0.87 | 1.58 | 1.17 |
| | δ-HCH | 2.36 | 2.90 | 0.91 | 1.33 | 0.83 | 5.24 | 0.91 | 1.10 | 2.24 | 0.63 | 1.18 | 1.15 | 1.69 | 0.71 |
| | Suma | 6.53 | 6.40 | 4.62 | 7.95 | 4.23 | 14.88 | 2.53 | 6.03 | 7.20 | 5.75 | 6.15 | 3.16 | 7.51 | 6.19 |
| | Promedio | 1.63 | 1.60 | 1.15 | 1.99 | 1.06 | 3.72 | 0.63 | 1.51 | 1.80 | 1.44 | 1.54 | 0.79 | 1.88 | 1.55 |
| Derivados de Hidrocarburos Aromáticos | DDT | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | 0.62 | dld | dld | dld | 1.01 | dld |
| | DDE | 0.60 | 0.40 | dld | 0.52 | dld | dld | dld | dld | dld | dld | 2.80 | 0.84 | 0.64 | dld |
| | DDD | dld | dld | nd | dld | nd | dld | nd | dld | 0.54 | nd | dld | dld | 0.26 | dld |
| | Metoxicloro | 23.61 | dld | 1.42 | nd | dld | nd | 0.65 | 0.49 | 3.97 | 1.92 | nd | 11.23 | 13.82 | 16.51 |
| | Suma | 24.21 | 0.40 | 1.42 | 0.52 | nd/dld | nd/dld | 0.65 | 0.49 | 5.12 | 1.92 | 2.80 | 12.07 | 15.73 | 16.51 |
| | Promedio | 12.11 | 0.40 | 1.42 | 0.52 | nd/dld | nd/dld | 0.65 | 0.49 | 1.71 | 1.92 | 2.80 | 6.04 | 3.93 | 16.51 |
| Derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | Aldrín | dld | dld | dld | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld | nd | dld | dld | dld |
| | Dieldrín | 0.26 | 0.28 | dld | 0.30 | dld | 0.46 | dld | dld | 1.45 | dld | nd | 0.43 | 0.80 | 0.53 |
| | Endrín | 1.09 | nd | 1.08 | nd | dld | 2.63 | 1.70 | nd | 0.79 | 0.35 | 1.04 | 1.35 | 0.65 | 0.50 |
| | Endrín aldehído | 0.33 | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | 1.10 | dld | 0.86 | dld |
| | Endrín cetona | 0.88 | 1.77 | 0.39 | 2.26 | 2.04 | 0.50 | dld | 0.53 | 0.52 | 0.51 | 0.28 | 1.84 | 0.50 | 2.52 |
| | Heptacloro | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld | dld |
| | Epóxido de Heptacloro | dld | dld | dld | dld | dld | 0.43 | nd | dld | dld | dld | nd | nd | nd | dld |
| | α-Endosulfán | dld | 0.28 | dld | dld | 0.22 | dld | dld | dld | 0.48 | 0.21 | 0.29 | 0.35 | 6.17 | 5.33 |
| | β-Endosulfán | dld | 0.29 | nd | nd | nd | 0.38 | nd | nd | dld | nd | nd | dld | 0.57 | dld |
| | Sulfato de Endosulfán | dld | dld | nd | dld | dld | dld | dld | dld | 1.05 | dld | 1.71 | 1.27 | 6.29 | 0.71 |
| | Suma | 2.56 | 2.62 | 1.46 | 2.56 | 2.26 | 4.40 | 1.70 | 0.53 | 4.27 | 1.06 | 4.42 | 5.23 | 15.84 | 9.58 |
| Promedio | 0.64 | 0.65 | 0.73 | 1.28 | 1.13 | 0.88 | 1.70 | 0.53 | 0.85 | 0.35 | 0.88 | 1.05 | 2.26 | 1.92 | |
| OCs Totales | Suma Total | 33.30 | 9.41 | 7.51 | 11.03 | 6.49 | 19.28 | 4.88 | 7.05 | 16.60 | 8.74 | 13.36 | 20.46 | 39.08 | 32.27 |
| | Promedio | 3.33 | 1.05 | 1.07 | 1.58 | 1.08 | 2.14 | 0.81 | 1.17 | 1.38 | 1.09 | 1.34 | 1.86 | 2.61 | 3.23 |
| | Frecuencia de detección (%) | 55.56 | 50.00 | 38.89 | 38.89 | 33.33 | 50.00 | 33.33 | 33.33 | 66.67 | 44.44 | 55.56 | 61.11 | 83.33 | 55.56 |

nd=no detectado; dld= debajo del límite de detección

RESULTADOS

Tabla 28. Concentración de OCs (derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos) y frecuencia de detección en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, época de estiaje frío (marzo).

| Compuesto | Mínimo | Máximo | Σ OCs | Promedio | D.E | Frecuencia de detección (%) | | Σ OCs lagunares | Promedio Lagunares | D.E | Frecuencia de detección (%) | | Σ OCs drenes | Promedio Drenes | D.E | Frecuencia de detección (%) | | |
|-----------------------|--------|--------|-------|----------|------|-----------------------------|---|-----------------|--------------------|--------|-----------------------------|---|--------------|-----------------|--------|---|--|-----|
| α- HCH | 0.32 | 3.42 | 26.06 | 1.86 | 1.01 | 100 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | 12.64 | 1.58 | 1.09 | 100 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos Lagunares | 13.42 | 2.24 | 0.83 | 100 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos Drenes | |
| β- HCH | 0.34 | 7.41 | 22.01 | 1.57 | 1.78 | 100 | | 14.51 | 1.81 | 2.33 | 100 | | 7.50 | 1.25 | 0.63 | 100 | | |
| γ-HCH | 0.46 | 2.00 | 17.86 | 1.28 | 0.39 | 100 | | 10.43 | 1.30 | 0.47 | 100 | | 7.43 | 1.24 | 0.30 | 100 | | |
| δ-HCH | 0.63 | 5.24 | 23.19 | 1.66 | 1.24 | 100 | | 15.58 | 1.95 | 1.53 | 100 | | 7.60 | 1.27 | 0.61 | 100 | | |
| | | | | | | | 6.365 | | | | | 6.64 | | | | | 5.99 | |
| DDT | 0.62 | 1.01 | 1.63 | 0.81 | 0.28 | 14 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos | dld | dld | dld | dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos Lagunares | 1.63 | 0.81 | 0.28 | 33 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos Drenes | |
| DDE | 0.40 | 2.80 | 5.79 | 0.97 | 0.91 | 43 | | 1.51 | 0.50 | 0.10 | 38 | | 4.28 | 1.43 | 1.19 | 50 | | |
| DDD | 0.26 | 0.54 | 0.80 | 0.40 | 0.20 | 14 | | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | | 0.80 | 0.40 | 0.20 | 33 | | |
| Metoxicloro | 0.49 | 23.61 | 73.63 | 8.18 | 8.42 | 64 | | 26.177 | 6.54 | 11.39 | 50 | | 47.45 | 9.49 | 6.30 | 83 | | |
| | | | | | | | 5.846 | | | | | 3.46 | | | | | 9.03 | |
| Aldrín | dld | dld | dld | dld | | dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | dld | dld | dld | dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos Lagunares | dld | dld | dld | dld | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos Drenes | |
| Dieldrín | 0.26 | 1.45 | 4.50 | 0.56 | 0.40 | 57 | | 1.30 | 0.33 | 0.09 | 50 | | 3.19 | 0.80 | 0.46 | 67 | | |
| Endrín | 0.35 | 2.63 | 11.17 | 1.12 | 0.67 | 71 | | 6.49 | 1.62 | 0.73 | 50 | | 4.67 | 0.78 | 0.37 | 100 | | |
| Endrín aldehído | 0.33 | 1.10 | 2.29 | 0.76 | 0.39 | 21 | | 0.33 | 0.33 | | 13 | | 1.95 | 0.98 | 0.17 | 33 | | |
| Endrín cetona | 0.28 | 2.52 | 14.52 | 1.12 | 0.83 | 93 | | 8.36 | 1.19 | 0.80 | 88 | | 6.16 | 1.03 | 0.92 | 100 | | |
| Heptacloro | dld | dld | dld | dld | | 0 | | dld | dld | dld | dld | | dld | dld | dld | dld | | dld |
| Epóxido de Heptacloro | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | | 7 | | 0.43 | 0.43 | | 13 | | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | | |
| α-Endosulfán | 0.21 | 6.17 | 13.33 | 1.67 | 2.53 | 57 | | 0.50 | 0.25 | 0.04 | 25 | | 12.82 | 2.14 | 2.81 | 100 | | |
| β-Endosulfán | 0.29 | 0.57 | 1.24 | 0.41 | 0.15 | 21 | | 0.66 | 0.33 | 0.06 | 25 | | 0.57 | 0.57 | | 17 | | |
| Sulfato de Endosulfán | 0.71 | 6.29 | 11.01 | 2.20 | 2.31 | 36 | | nd/dld | nd/dld | nd/dld | nd/dld | | 11.011 | 2.20 | 2.31 | 83 | | |
| | | | | | | | 4.178 | | | | | 2.26 | | | | | 6.73 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Promedio Total OCs estiaje frío (marzo) | 16.39 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | OCs laguna | 12.37 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | OCs drenes | 21.75 | |

nd= no detectado; dld= debajo del límite de detección; ΣOCs=Sumatoria de OCs; D.E.= Desviación estándar

En la Figura 34 se muestra la distribución espacial de los OCs en la época de estiaje frío (marzo).

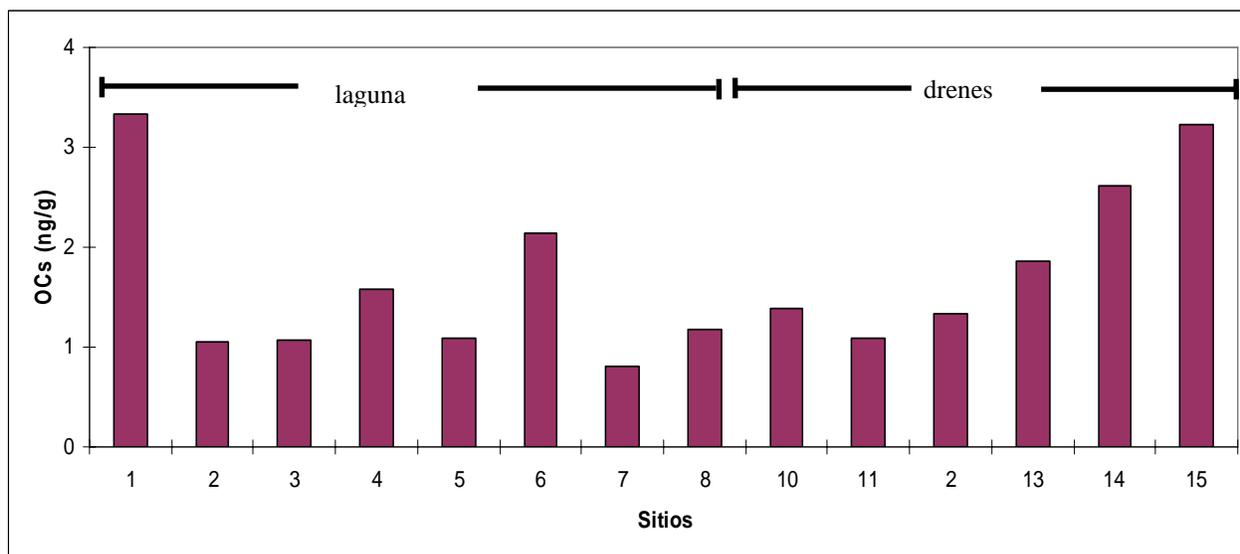


Figura 34. Distribución espacial de los OCs en sedimento del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, durante la época de estiaje frío (marzo).

OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos

El valor promedio más alto fue el del compuesto α -HCH, seguido por δ -HCH, β -HCH y γ -HCH. Todos los OCs derivados de los hidrocarburos alicíclicos presentaron en el sistema una frecuencia de detección del 100 %.

En la laguna, el δ -HCH presentó la mayor concentración promedio, seguido del β -HCH, α -HCH y finalmente γ -HCH.

En los drenes, el valor promedio de los hidrocarburos alicíclicos fue menor que en la laguna, el compuesto α -HCH tuvo el mayor valor promedio de los drenes, seguido en orden decreciente por los compuestos δ -HCH, β -HCH y γ -HCH.

Al analizar en forma porcentual, las proporciones en que se presentaron los isómeros del grupo de los hidrocarburos alicíclicos en los sitios de drenes, el compuesto α -HCH con 37 %, presentó el mayor porcentaje de los isómeros de los hidrocarburos alicíclicos, seguido por los demás isómeros, todos con 21 %, lo que nos indica el uso de HCH grado técnico. En los sitios lagunares, el isómero con mayor porcentaje fue el isómero δ -HCH con 29 %, seguido por el isómero α -HCH con 24 %, lo que sugeriría una contaminación histórica. En este caso no se podría asegurar con

exactitud sí existió una aplicación reciente de HCH, ya que la mezcla de HCH es la principal fuente de α -HCH en el ambiente, pero la conversión del isómero γ -HCH a α -HCH en los suelos y sedimentos, también contribuye a la acumulación del isómero α -HCH, el cual es menos persistente que los isómeros γ -HCH y β -HCH (Walker *et al.*, 1999), el mayor porcentaje del α -HCH en los sitios de los drenes podría deberse únicamente a la degradación del HCH grado técnico.

En la Figura 35 se muestra la distribución espacial de los de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos durante la época de estiaje frío (marzo).

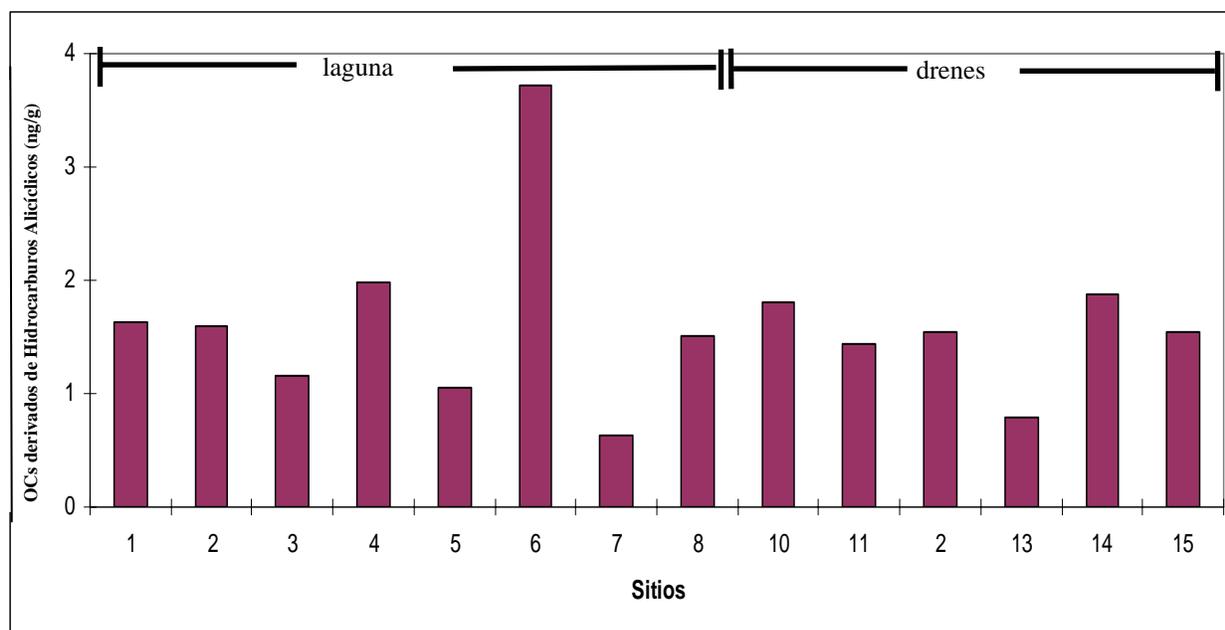


Figura 35. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa en la época de estiaje frío (marzo).

OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos

En el sistema (laguna y drenes) el metoxicloro fue el compuesto con valor promedio de concentración más alto, seguido por DDE, DDT y DDD. El metoxicloro tuvo la mayor frecuencia de detección en todo el sistema con 64 %.

En la laguna el metoxicloro fue el compuesto con mayor concentración. El metoxicloro y el DDD fueron los únicos compuestos detectados en la laguna. El DDT estuvo por debajo del límite de detección y el DDE no se detectó o estuvo debajo del límite de detección.

Con respecto a los drenes, el valor promedio de los hidrocarburos aromáticos fue mayor que en la laguna. El mayor valor promedio de concentración también fue el metoxicloro, seguido por DDE, DDT y DDD. El metoxicloro y el DDE presentaron las mayores frecuencias de detección en los drenes. Como ya se mencionó, el sitio 9 no fue considerado para la obtención de los cálculos, ya que presentó concentraciones muy elevadas de DDT (6,689.3ng/g), DDE (26.75 ng/g) y DDD (368.9 ng/g), estas altas concentraciones fueron un valor atípico, que se pudo deber al dragado del Dren Novobampo.

Al considerar en forma porcentual las proporciones de los compuestos aromáticos analizados en los sitios lagunares se obtuvo que el metabolito DDE, mostró un porcentaje total de 100%, esto indica que el DDT fue transformado a su metabolito DDE bajo condiciones aeróbicas (la vida media de este metabolito es de 10 a 30 años) (Hwang *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2005b). En los drenes, el DDE mostró un porcentaje del 64 %, seguido por el DDT con 24 % y DDD con 12 %. Los valores obtenidos de DDE/DDT y (DDE+DDD/DDT) son 2.6 y 3.1 respectivamente, lo que sugiere una acumulación histórica y degradación DDT, a través del tiempo (Liu *et al.*, 2008).

En la Figura 36 se muestra la distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en la época de estiaje frío (marzo).

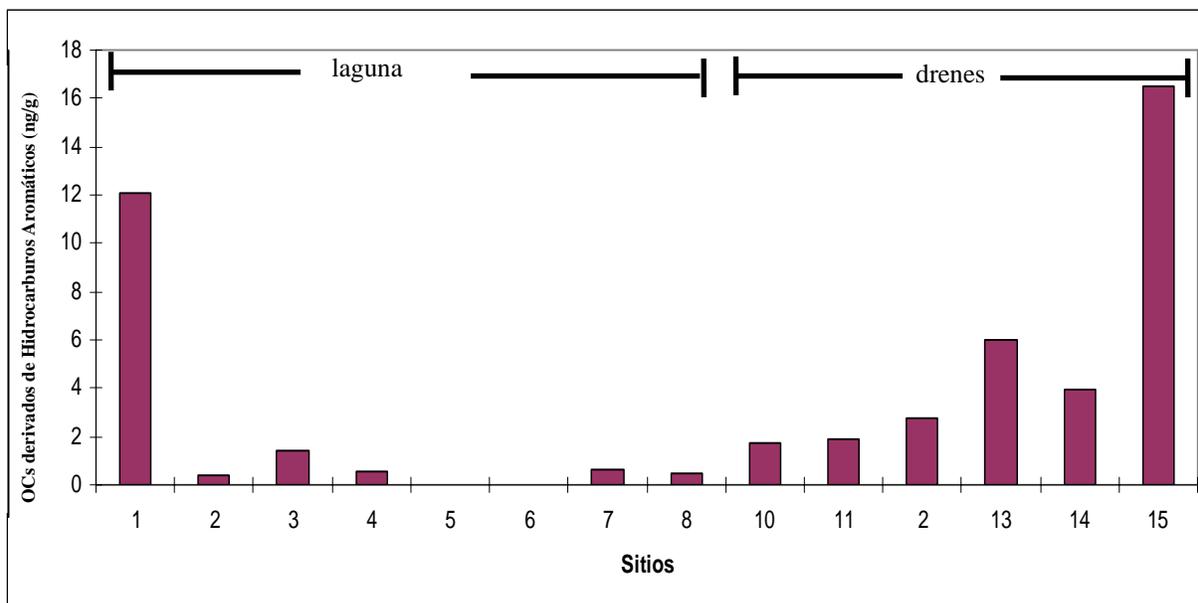


Figura 36. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje frío (marzo).

OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos

Del grupo de los drínes, endrín cetona tuvo una frecuencia de detección en todo el sistema con 93 % seguido del endrín.

El heptacloro no fue detectado en el sistema, sin embargo su epóxido sí.

Con respecto al endosulfán, el metabolito que se registró con mayor concentración promedio fue el sulfato de endosulfán, seguido por α -endosulfán y β -endosulfán. El α -endosulfán presentó la mayor frecuencia de detección seguido por el sulfato de endosulfán y el β -endosulfán.

En la laguna, del grupo de los drínes, el endrín tuvo la mayor concentración promedio, siendo el endrín cetona el compuesto con mayor frecuencia de detección.

Del grupo del endosulfán solo se detectó α -endosulfán y β -endosulfán.

En los drenes, del grupo de los drínes, el endrín cetona tuvo el mayor valor promedio, seguido por endrín aldehído, diendrín y endrín. La frecuencia de detección del endrín cetona y del endrín en los sedimentos de drenes fue del 100 %.

El heptacloro ni su epóxido fueron detectados ó se encontraron por debajo del límite de detección en los drenes.

En los drenes el sulfato de endosulfán presentó el mayor valor promedio del grupo del endosulfán y la mayor frecuencia de detección corresponde al α -endosulfán con 100 %.

Al evaluar en forma porcentual la proporción en que se registraron los compuestos, se obtuvo que en todo el sistema (laguna y drenes) del grupo de los drínes, el endrín cetona presentó el mayor porcentaje con 45 %, seguido por el endrín con 34 %.

Con respecto al heptacloro en esta época, únicamente se encontró su epóxido, sugiriendo que no existió aplicación reciente.

La proporción porcentual del α -endosulfán fue mayor en la laguna, durante esta época con 52 %, seguido por el sulfato de endosulfán con 43 % y finalmente β -endosulfán con 5 %, la mayor proporción de α -endosulfán, sugiere una aplicación reciente en las zonas aledañas al sistema, como resultado de la agricultura intensiva, ya que el endosulfán grado técnico esta compuesto por dos isómeros, α -endosulfán y β -endosulfán, en concentraciones aproximadas del 70 % y 30 % respectivamente (Pathak *et al.*, 2008).

En la Figura 37 se muestra la distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos durante la época de estiaje frío (marzo).

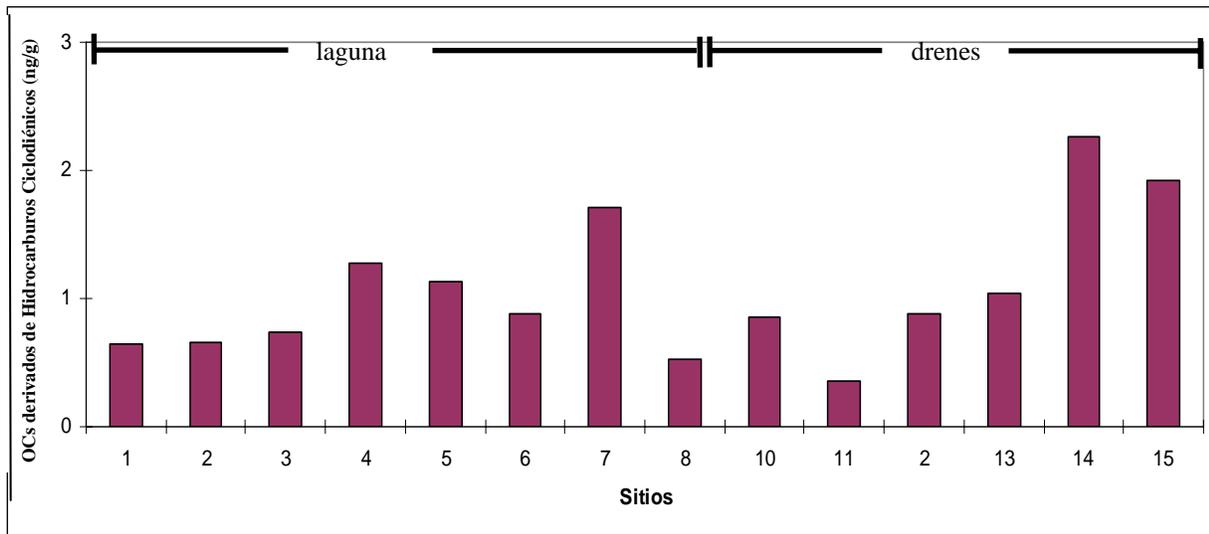


Figura 37. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, en la época de estiaje frío (marzo).

En la Tabla 29 se muestran los coeficientes de correlación (r), usados como una herramienta exploratoria, obtenidos en la época de estiaje frío entre los tamaños granulométricos, el COT y los OCs, OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos, cabe resaltar que se obtuvieron coeficientes de correlación significativos entre los hidrocarburos alicíclicos en todo el sistema, laguna y drenes con las gravas.

Tabla 29. Coeficientes de correlación (r) en la época de estiaje frío (marzo).

| | gravas | arenas | limos | arcillas | limos y arcillas | COT |
|--|--------------|--------|-------|----------|------------------|-------|
| OCs (totales) | 0.05 | -0.21 | 0.23 | 0.12 | 0.20 | 0.07 |
| OCs (laguna) | 0.18 | 0.07 | -0.20 | -0.24 | -0.22 | -0.05 |
| OCs (drenes) | -0.10 | 0.07 | 0.60 | -0.06 | 0.43 | -0.04 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (totales) | 0.76 | -0.23 | 0.02 | 0.06 | 0.03 | 0.27 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (laguna) | 0.85 | -0.57 | 0.35 | 0.24 | 0.32 | 0.52 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (drenes) | -0.91 | -0.08 | -0.32 | 0.52 | 0.23 | -0.30 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (totales) | -0.20 | -0.24 | 0.27 | 0.21 | 0.26 | -0.05 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (laguna) | -0.26 | 0.45 | -0.41 | -0.44 | -0.42 | -0.35 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (drenes) | 0.01 | -0.27 | 0.34 | 0.00 | 0.27 | -0.35 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (totales) | -0.15 | -0.34 | 0.43 | 0.28 | 0.39 | 0.32 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (laguna) | -0.12 | -0.20 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.35 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (drenes) | -0.16 | -0.50 | 0.65 | 0.02 | 0.54 | 0.18 |

p<0.05; coeficientes de correlación significativos se muestran en negritas.

En la tabla 30 se presentan los valores promedio de los OCs, de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos de los 15 sitios, de la laguna y de los drenes. También los valores mínimos, máximos, sumatoria, promedio, desviación estándar y frecuencia de detección de cada compuesto, considerando las tres épocas. El valor promedio de OCs fue calculado, considerando únicamente los sitios en los que se presentaron concentraciones de OCs.

RESULTADOS

Tabla 30. Concentración de OCs (OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos, aromáticos y ciclodiénicos) y frecuencia de detección en sedimentos (ng/g peso seco) del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, considerando las tres épocas.

| Compuesto | Mínimo | Máximo | Σ OCs | Promedio OCs | D.E | Frecuencia de detección (%) | | Σ OCs lagunares | Promedio OCs lagunares | D.E | Frecuencia de detección (%) | | Σ OCs drenes | Promedio OCs drenes | D.E | Frecuencia de detección (%) | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------------|-------|-----------------------------|---|-----------------|------------------------|------|-----------------------------|---|--------------|---------------------|--------|-----------------------------|--|--|-------|
| α- HCH | 0.32 | 41.26 | 210.23 | 5.13 | 8.74 | 93.18 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos | 59.67 | 2.71 | 2.52 | 91.67 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos Lagunares | 150.56 | 7.92 | 12.12 | 95.00 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Alicíclicos Drenes | | |
| β- HCH | 0.34 | 533.25 | 611.20 | 16.08 | 86.19 | 86.36 | | 38.01 | 1.81 | 1.79 | 87.50 | | 573.19 | 33.72 | 128.76 | 85.00 | | | |
| γ- HCH | 0.35 | 7.65 | 48.95 | 1.32 | 1.39 | 84.09 | | 19.18 | 0.96 | 0.50 | 83.33 | | 29.76 | 1.75 | 1.92 | 85.00 | | | |
| δ- HCH | 0.30 | 70.23 | 237.78 | 6.60 | 15.74 | 81.82 | | 46.38 | 2.44 | 2.90 | 79.17 | | 191.40 | 11.26 | 22.10 | 85.00 | | | |
| | | | | | | | 25.77 | | | | | | 7.10 | | | | | | 47.25 |
| DDT | 0.59 | 1.78 | 7.39 | 1.06 | 0.42 | 15.91 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos | 3.27 | 1.09 | 0.62 | 12.50 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos Lagunares | 4.12 | 1.03 | 0.31 | 20.00 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Aromáticos Drenes | | |
| DDE | 0.40 | 2.80 | 10.68 | 0.89 | 0.68 | 27.27 | | 5.01 | 0.72 | 0.44 | 29.17 | | 5.67 | 1.13 | 0.94 | 25.00 | | | |
| DDD | 0.26 | 0.59 | 2.46 | 0.49 | 0.13 | 11.36 | | 0.00 | | | 0.00 | | 2.46 | 0.49 | 0.13 | 25.00 | | | |
| Metoxicloro | 0.49 | 42.08 | 444.02 | 12.33 | 11.98 | 81.82 | | 145.64 | 8.09 | 9.90 | 75.00 | | 298.38 | 16.58 | 12.63 | 90.00 | | | |
| | | | | | | | 11.61 | | | | | | 7.33 | | | | | | 16.35 |
| Aldrín | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | | 2.27 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos | 0.58 | 0.58 | | 4.17 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos Lagunares | 0.00 | | | 0.00 | Promedio OCs derivados de Hidrocarburos Ciclodiénicos Drenes | | |
| Dieldrín | 0.25 | 2.50 | 15.75 | 0.79 | 0.66 | 45.45 | | 3.63 | 0.52 | 0.46 | 29.17 | | 12.12 | 0.93 | 0.72 | 65.00 | | | |
| Endrín | 0.35 | 26.99 | 152.91 | 4.63 | 6.18 | 75.00 | | 74.08 | 4.94 | 4.49 | 62.50 | | 78.83 | 4.38 | 7.42 | 90.00 | | | |
| Endrín aldehído | 0.26 | 1.38 | 8.30 | 0.69 | 0.43 | 27.27 | | 3.45 | 0.57 | 0.42 | 25.00 | | 4.85 | 0.81 | 0.45 | 30.00 | | | |
| Endrín cetona | 0.28 | 9.81 | 75.69 | 2.05 | 2.18 | 84.09 | | 33.56 | 1.68 | 1.92 | 83.33 | | 42.13 | 2.48 | 2.43 | 85.00 | | | |
| Heptacloro | 0.37 | 17.92 | 56.69 | 3.78 | 5.77 | 34.09 | | 4.49 | 0.90 | 0.74 | 20.83 | | 52.20 | 5.22 | 6.69 | 50.00 | | | |
| Epóxido de Heptacloro | 0.39 | 0.61 | 1.91 | 0.48 | 0.10 | 9.09 | | 1.30 | 0.43 | 0.04 | 12.50 | | 0.61 | 0.61 | | 5.00 | | | |
| α- Endosulfán | 0.17 | 6.17 | 21.14 | 1.01 | 1.68 | 47.73 | | 3.90 | 0.65 | 1.06 | 25.00 | | 17.24 | 1.15 | 1.89 | 75.00 | | | |
| β- Endosulfán | 0.24 | 2.53 | 8.92 | 0.74 | 0.72 | 27.27 | | 1.79 | 0.36 | 0.10 | 20.83 | | 7.12 | 1.02 | 0.85 | 35.00 | | | |
| Sulfato de Endosulfán | 0.71 | 9.41 | 54.56 | 2.60 | 2.44 | 47.73 | | 11.33 | 1.42 | 0.42 | 33.33 | | 43.23 | 3.33 | 2.88 | 65.00 | | | |
| | | | | | | | 9.22 | | | | | | 5.75 | | | | | | 13.60 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Promedio Total OCs | 44.75 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Promedio Total OCs Laguna | 18.97 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Promedio Total OCs drenes | 75.69 | | |

nd= no detectado; dld= debajo del límite de detección; ΣOCs=Sumatoria de OCs; D.E.= Desviación estándar

El valor promedio de concentración de los OCs en el sistema lagunar Navachiste-Macapule fue de 44.75 ng/g, registrándose las mayores concentraciones en los drenes, especialmente en el sitio 14.

Considerando las tres épocas el grupo de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos fue el que registró las mayores concentraciones.

En la Figura 38 se muestra la distribución promedio de los OCs considerando las tres épocas.

En la Figura 39 se muestran los valores promedio obtenidos de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos considerando las tres épocas.

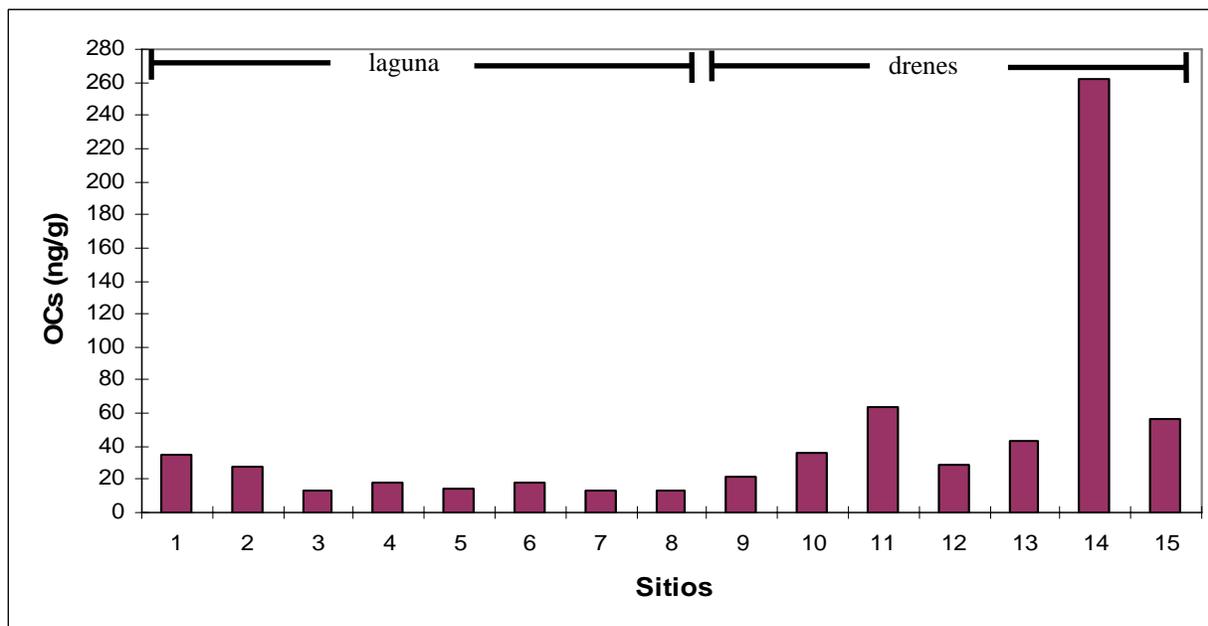


Figura 38. Distribución espacial de los OCs en el sistema considerando las tres épocas.

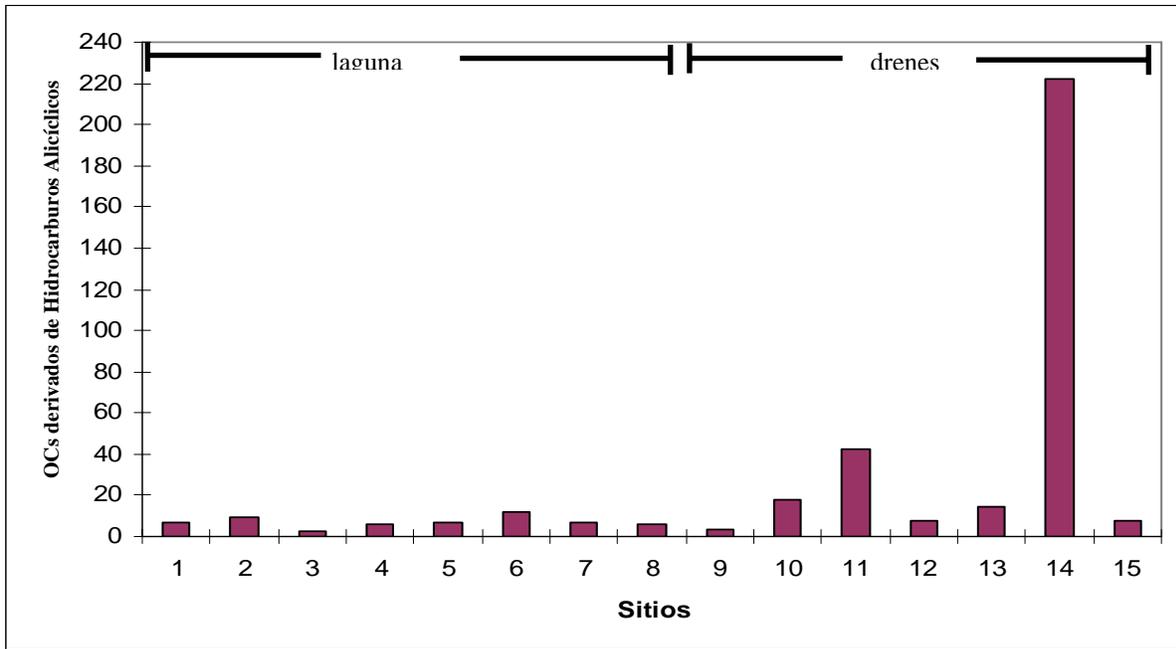


Figura 39. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos alicíclicos en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, considerando las tres épocas.

En la Figura 40 se observa la distribución promedio de los OCs derivados de los hidrocarburos aromáticos, considerando las tres épocas.

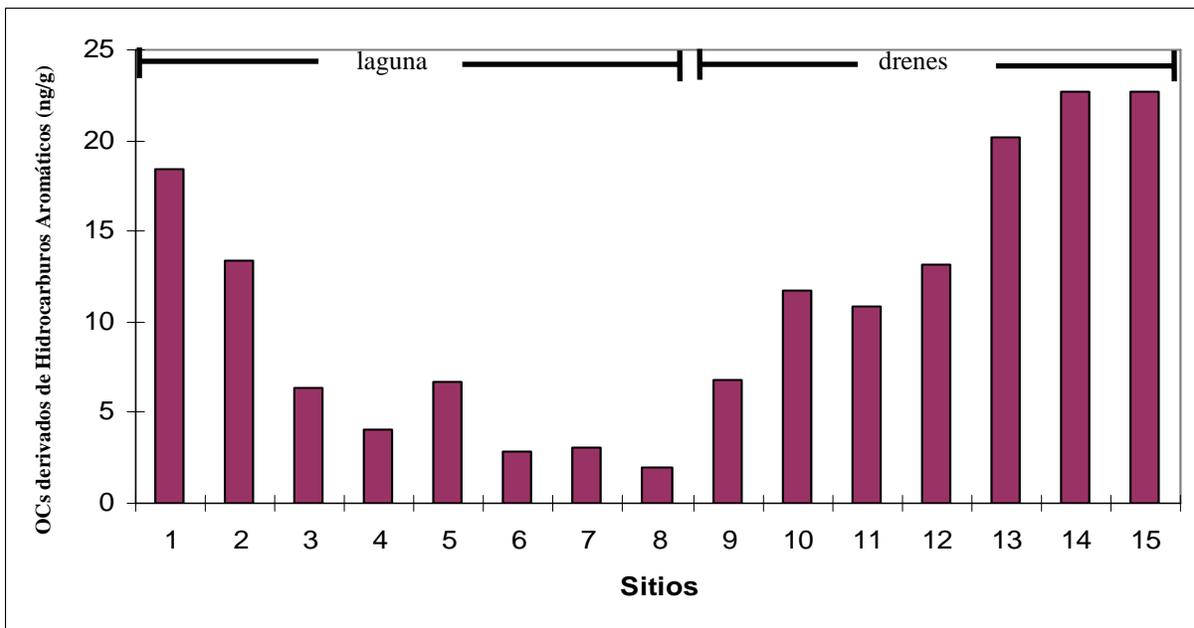


Figura 40. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos aromáticos en sedimento del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, considerando las tres épocas.

En la Figura 41 se muestra la distribución promedio de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos, considerando las tres épocas.

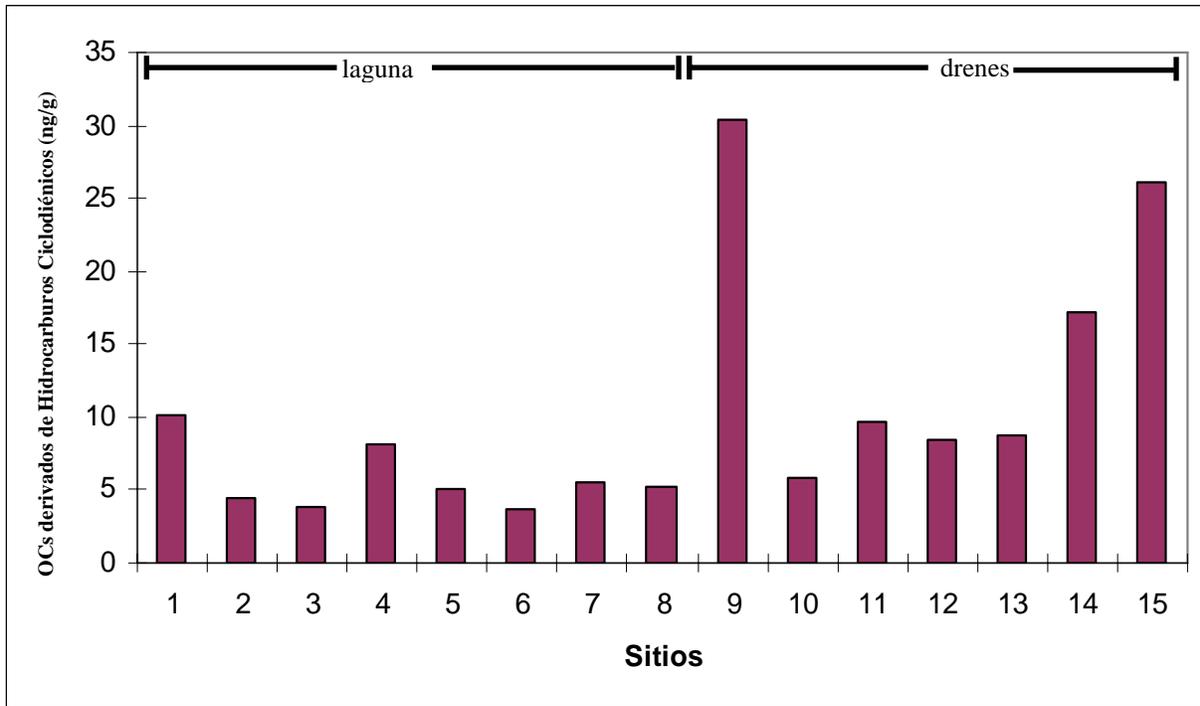


Figura 41. Distribución espacial de los OCs derivados de hidrocarburos ciclodiénicos en sedimento del sistema lagunar Navachiste-Macapule, considerando las tres épocas.

Al analizar en forma porcentual las proporciones de los isómeros del grupo de los hidrocarburos alicíclicos en todo el sistema durante las tres épocas, el isómero con mayor porcentaje fue β -HCH con 55 %, seguido por el isómero δ -HCH con 21 %, estos mismos isómeros mostraron los mayores porcentajes en los drenes, en la laguna el metabolito α -HCH mostró la mayor proporción con 37 %, seguido por el isómero δ -HCH con 28 %. Lo que indicaría una contaminación histórica.

Los valores porcentuales de la proporción del DDT también sugiere una acumulación histórica del DDT, a través de su largo tiempo de degradación, sin olvidar, que en la época de estiaje cálido, las proporciones entre DDE y DDT, así como entre (DDE+DDD)/DDT, indicaron, contaminación histórica, pero también un posible aporte reciente al sistema, el cuál aún no ha sido degradado aeróbicamente, ya que no hubo presencia del metabolito DDE. También es importante recordar que durante la época de estiaje frío (marzo) en el sitio 9 que se ubica en el dren Novobampo, se registraron concentraciones muy elevadas de DDT y sus metabolitos, dichos valores no fueron considerados para los cálculos, ya que concentraciones de esa magnitud no se habían registrado anteriormente, posiblemente esta parte del dren Novobampo fue dragado y removieron los sedimentos.

En los valores porcentuales de la proporción del grupo de los drínes, el endrín presentó el mayor porcentaje con 60 %, seguido por endrín cetona con 30 %, dieldrín con 6 %, endrín aldehído con 3 % y aldrín 0.2 %, indicando aplicación reciente de endrín en el sistema lagunar Navachiste-Macapule.

Con respecto a los valores porcentuales de la proporción del heptacloro, este registró el 97 %, mientras que su epóxido el 3 %, lo que sugiere uso constante en el sistema.

Los valores porcentuales de la proporción del endosulfán en el sistema, mostraron el mayor porcentaje del sulfato de endosulfán con 54 %, seguido por el α -endosulfán con 21 % y finalmente el β -endosulfán con 9 %, estos valores sugieren el predominio de las formas degradadas, producto de la oxidación del α -endosulfán, el cuál en la mezcla técnica tiene una proporción de 7:3 α y β -endosulfán respectivamente. Sin embargo, se debe considerar que en la

época de estiaje frío el porcentaje del α -endosulfán fue el mayor, lo que nos podría sugerir una aplicación reciente en las zonas agrícolas aledañas.

En este estudio en general, no existió correlación entre los OCs del sedimento y el contenido de carbono orgánico, ni entre las fracciones granulométricas del sedimento (Tabla 31).

Tabla 31. Coeficientes de correlación obtenidos considerando las tres épocas.

| | gravas | arenas | limos | arcillas | limos y arcillas | COT |
|--|-------------|--------|-------------|----------|------------------|-------|
| OCs (totales) | -0.20 | -0.38 | 0.43 | 0.34 | 0.41 | -0.08 |
| OCs (laguna) | -0.08 | 0.47 | -0.67 | -0.68 | -0.68 | -0.56 |
| OCs (drenes) | -0.23 | 0.13 | 0.14 | -0.32 | -0.11 | 0.00 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (totales) | -0.14 | -0.30 | 0.34 | 0.27 | 0.32 | 0.00 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (laguna) | 0.83 | -0.49 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.36 |
| OCs derivados de Hidrocarburos alicíclicos (drenes) | -0.33 | 0.23 | 0.02 | -0.26 | -0.21 | 0.03 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (totales) | -0.39 | -0.44 | 0.53 | 0.45 | 0.51 | -0.34 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (laguna) | -0.33 | 0.62 | -0.70 | -0.65 | -0.69 | -0.69 |
| OCs derivados de Hidrocarburos aromáticos (drenes) | 0.62 | -0.55 | 0.70 | -0.30 | 0.52 | 0.15 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (totales) | -0.32 | -0.54 | 0.63 | 0.48 | 0.59 | -0.38 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (laguna) | -0.39 | 0.50 | -0.45 | -0.44 | -0.45 | -0.36 |
| OCs derivados de Hidrocarburos ciclodiénicos (drenes) | 0.07 | -0.37 | 0.60 | -0.33 | 0.40 | -0.72 |

P<0.05. coeficientes de correlación significativos se muestran en negritas.

8.8 Comparación de los OCs presentes en el sedimento del sistema Navachiste-Macapule con las Tablas de Referencia para sedimentos.

Los datos obtenidos en este estudio se compararon con las Tablas de Referencia de Compuestos Orgánicos (NOAA, 2004) y la Guía Canadiense de la Calidad Ambiental de Sedimentos (CCME, 2002). Dichas tablas, especifican: el nivel umbral de efectos (Threshold Effects Level, TEL) y nivel de efectos probables (Probable Effects Level, PEL), efecto de rango bajo (Effects Range-Low, ERL), efecto de rango medio (Effects Range Median, ERM) para los siguientes compuestos en sedimentos marinos y en sedimentos de agua dulce γ -HCH (lindano), dieldrín, endrín, epóxido de heptacloro, DDT, DDE, DDD, Σ DDT.

El valor promedio del γ -HCH (lindano) registrado en los sitios lagunares del sistema Navachiste-Macapule (Figura 42) sobrepasa el nivel del TEL y se mantiene muy cercano y/o sobrepasa los

valores establecidos de PEL. En algunos sitios de los drenes, los valores registrados γ -HCH (lindano) sobrepasan los valores establecidos de TEL y PEL (Figura 43).

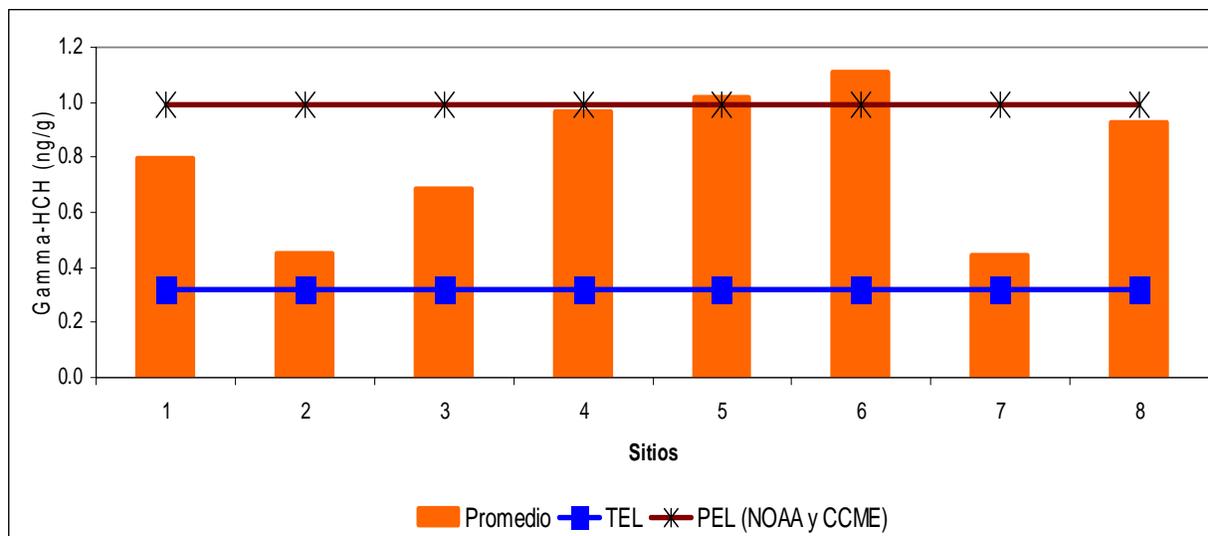


Figura 42. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el γ -HCH comparados con la laguna.

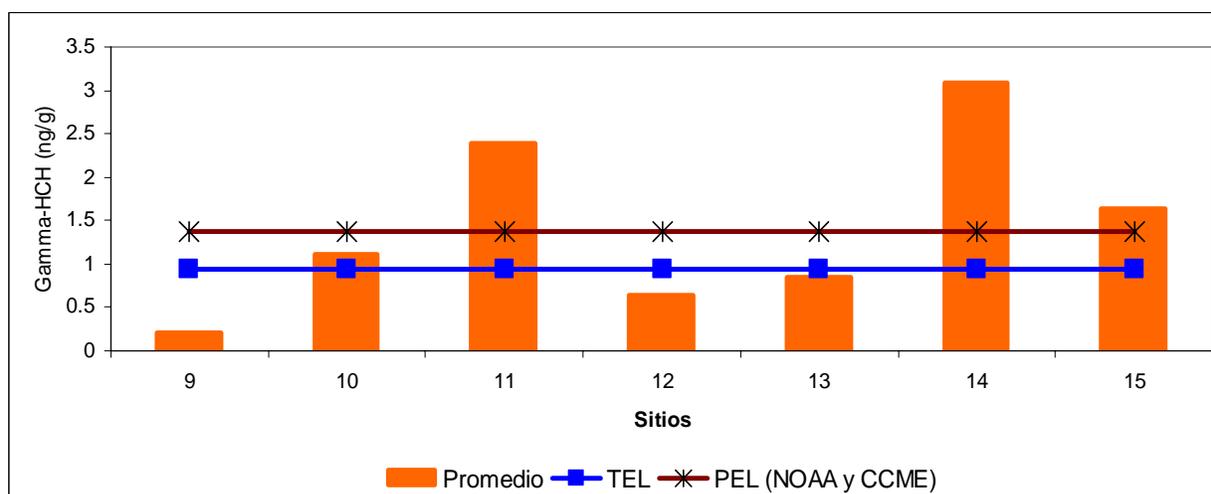


Figura 43. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el γ -HCH comparados con los drenes.

El dieldrín en seis sitios lagunares se mantiene por encima de los valores establecidos para el ERL (Figura 44). En los drenes, se registró por debajo de los valores establecidos de TEL y ERL.

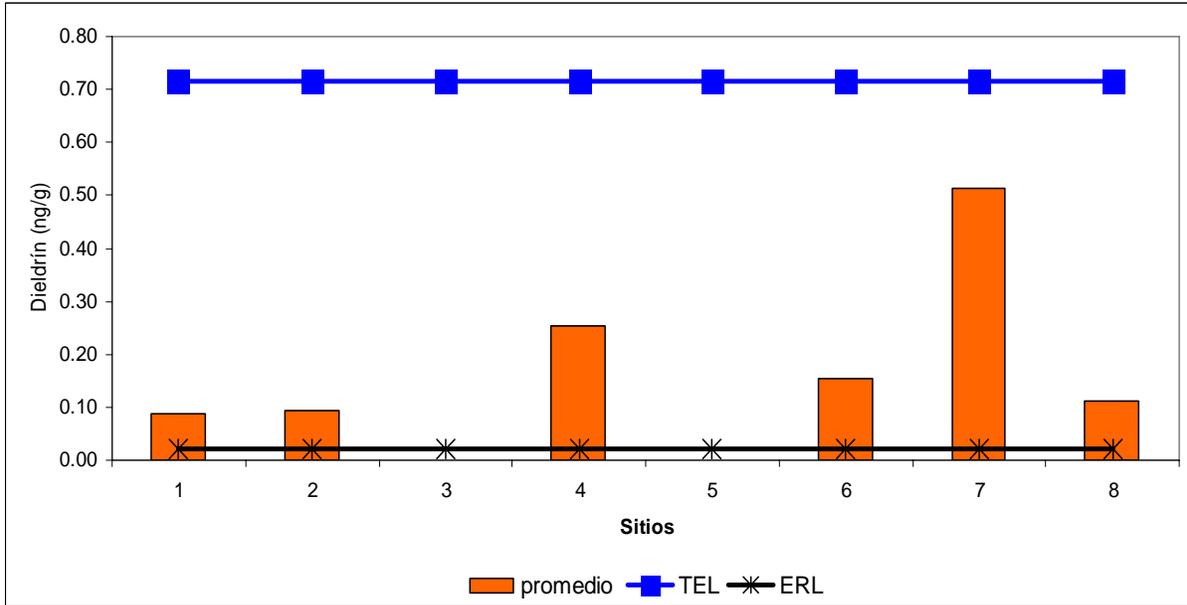


Figura 44. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el dieldrín comparados con la laguna.

Los valores del endrín en la laguna, estuvieron por debajo del valor PEL establecido, no así en los sitios de drenes, en los cuáles, los valores estuvieron por encima o muy cercano del TEL (Figura 45).

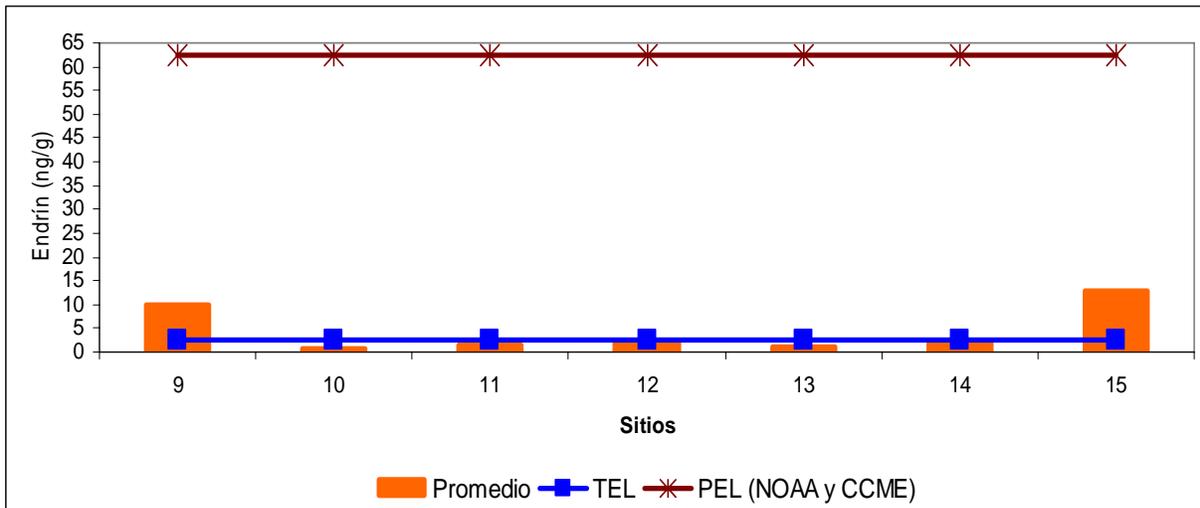


Figura 45. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el endrín comparado con los drenes.

En los sitios lagunares, el DDT estuvo ligeramente por debajo de los valores de TEL y PEL. También los sitios de drenes estuvieron por debajo del PEL, pero debemos recordar, que el valor

del sitio 9 de la época de estiaje frío (marzo no fue considerada por las altas concentraciones del DDT (6689 ng/g,) rebasa por mucho los valores de PEL (4.77 ng/g).

Los valores de DDE en la laguna y drenes estuvieron por debajo de todos los valores establecidos del ERL, ERM y PEL.

En la laguna los valores de DDD estuvieron por debajo de lo establecido por los ERL, PEL y ERM. También en los drenes estuvieron por debajo del TEL y PEL.

Los valores de DDT total en la laguna, se mantuvo por debajo o muy cerca del valor de ERL, excepto en el sitio 7, en el cual lo rebasa y se mantuvo muy cercano al valor del TEL (Figura 46). En los drenes los valores se mantuvieron por debajo del nivel TEL, sin embargo el sitio 9 de la época de estiaje frío (marzo), no considerado para la obtención de cálculos, sobrepasa por mucho, los niveles establecidos por los criterios de calidad de los sedimentos.

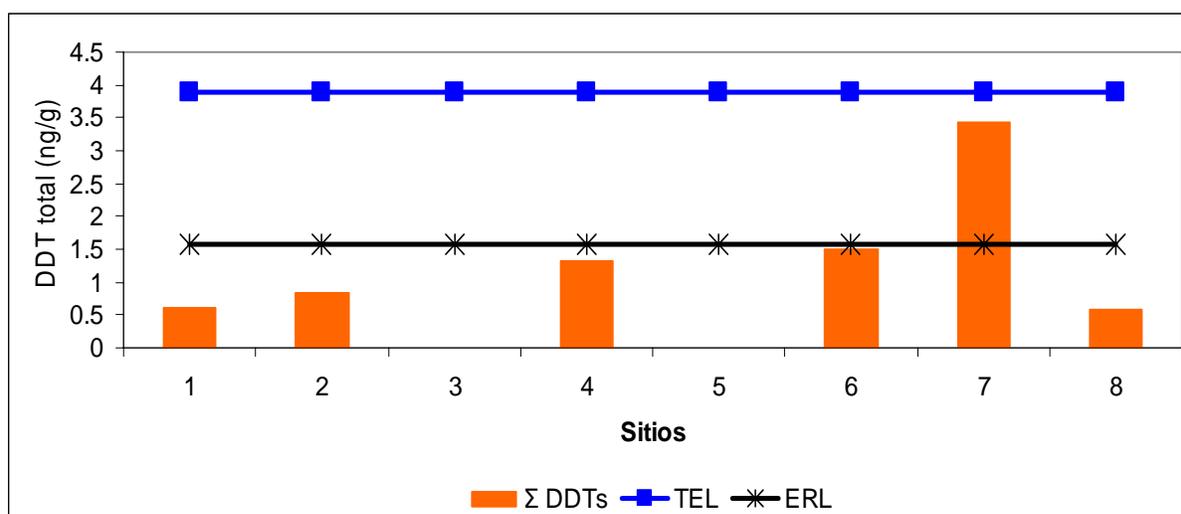


Figura 46. Valores de NOAA (2004) y CCME (2002) para el DDT total (ng/g) comparado con la laguna.

En este estudio, los compuestos γ -HCH (laguna y drenes), dieldrín (laguna), endrín (en drenes), DDT total (laguna) excedieron los respectivos niveles establecidos por NOAA (2004) y CCME (2002). Sin olvidar que el DDT y DDD en el sitio 9 durante la época de estiaje frío (marzo), sobrepasó considerablemente los valores establecidos por la NOAA (2004) y CCME (2002). En los sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule los niveles de OCs que se registran están muy cercanos o exceden los niveles establecidos por la NOAA y CCME por lo que podrían

bioacumularse en los organismos del sistema y provocar su transferencia a través de la red trófica, lo que requiere el continuo monitoreo de los niveles de los OCs en el sistema Navachiste-Macapule.

9 DISCUSIÓN

En los sitios lagunares los valores de salinidad oscilaron entre 30 ‰ y 40 ‰, registrándose las mayores salinidades promedio durante la época de estiaje cálido (junio) y la época de lluvias (agosto), en dichas épocas se registraron las mayores temperaturas lo que provoca un aumento en la evaporación, teniendo en cuenta que el Golfo de California se caracteriza por una alta evaporación (Delgadillo-Hinojosa, *et al.*, 2001) lo que provoca un incremento en la salinidad durante la época de mayores temperaturas.

En el sitio 5 se registraron valores de salinidad atípicos con salinidad de 14 ‰ en la época de estiaje cálido, 40 ‰ en la época de lluvias y 2 ‰ en la época de estiaje frío, durante esta última época también en el sitio 6 se registró una ligera disminución de la salinidad, estos dos sitios se ubican muy cercanos al litoral y al Estero el Colorado, por lo que probablemente hubo aporte de agua dulce proveniente del Estero el Colorado el cuál podría ser empleado para conducir efluentes de la zona agrícola adyacente a la laguna, sin embargo no se puede determinar con exactitud si dicho aporte de agua dulce proviene de la zona agrícola o del acuífero del río Sinaloa, el cuál limita con el sistema Navachiste (CNA, 2002).

En los drenes se registraron salinidades en un intervalo de 0 ‰ a 4 ‰, ya que por ellos se conducen las aguas residuales de la zona agrícola adyacente y efluentes urbanos (Hernández *et al.*, 2005; INEGI 2000; Orduña-Rojas y Longoria-Espinoza, 2006; CNA, 2002).

Granulometría

El sistema lagunar Navachiste-Macapule en los sitios de muestreo ubicados en la laguna el grupo textural predominante fue el de las arenas finas a muy finas las cuales son aportadas por el oleaje, marea, viento. En la zona costera del sistema Navachiste-Macapule, existen dunas activas bien desarrolladas en las islas San Ignacio y Macapule, también barras en forma de gancho y playas en la mayor parte del área, lo que sugiere que existe un gran aporte de sedimentos por la acción de

las corrientes marinas y de acuerdo al tipo de sedimento encontrado en la laguna, esta puede considerarse un lugar de alta energía (Vergara-Méndez., 1993). Esta alta energía se debe a que existe una velocidad de corriente considerable, al respecto Escobedo-Urías *et al.*, (2006) reportaron que en la boca de Ajoro (Norte) las máximas velocidades de la corriente se midieron durante el reflujó con 1.5 ms^{-1} en un intervalo de 0.008 ms^{-1} a 1.46 ms^{-1} , mientras que durante el flujo la corriente fue de 1.2 ms^{-1} . En la boca de Vasiquilla (Sur), la velocidad máxima de la corriente fue de 2.1 ms^{-1} durante el reflujó y de 1.6 ms^{-1} durante el flujo. De acuerdo a los datos que reporta Escobedo-Urías *et al.*, (2006) se realizó el cálculo del flujo de la boca Ajoro (norte) obteniendo un valor de $21,130.58 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, mientras que en la boca Vasiquilla (Sur) el flujo calculado fue de $14,242.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Durante el reflujó el flujo en la boca Ajoro fue de $17,512.33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y en Vasiquilla de $10,867.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

La distribución granulométrica en los sitios lagunares, coincide con lo obtenido por Vergara-Méndez (1993).

En los drenes, el grupo textural que predominó fue el de los limos, provenientes de la erosión de las más de 110, 000 ha campos de cultivo, cabe mencionar que la planicie costera este del Golfo de California es muy amplia, con pendientes relativamente bajas, en esta zona, las descargas de agua hacia el mar están controladas principalmente los drenes y ocasionalmente por tormentas o lluvias fuertes (Kasper *et al.*, 2007), teniendo muy presente que es un sistema alterado debido al cambio del uso de suelo y que esta sujeto a procesos de erosión, por lo que el hecho de que predominen los limos no necesariamente significa que sea un lugar de baja energía o de depositación. De acuerdo a Escobedo-Urías (2008), el flujo del dren Batamote en el D.R. 075, aledaño al D.R. 063, tiene un intervalo de 0.91 a $3.31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, el flujo del dren Novobampo también en el D.R 075 oscila entre 1.50 y $4.02 \text{ m}^3/\text{s}$, los flujos del dren San Antonio van de 1.74 a $4.59 \text{ m}^3/\text{s}$ y el flujo del Dren 29+1000 oscila entre 0.06 y $0.24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Los drenes están sujetos a modificaciones, ya que constantemente son dragados, para permitir el flujo de los desechos agrícolas y evitar así las inundaciones de los campos de cultivo. Además en el D.R. 063 han instalado drenajes parcelarios subterráneo y revestido algunos canales, para evitar la presencia de vegetación hasta en un 75 % (CNA, 2007).

COT

El valor promedio del COT en el sistema fue de 0.90 %, con un intervalo entre 0.24 % a 2.67 %. El porcentaje promedio de COT en la laguna fue de 0.92 %, mientras que en los drenes el valor promedio fue de 0.87 %. Durante la época de estiaje cálido se registró el mayor porcentaje promedio de COT considerando los 15 sitios de muestreo, tomando en cuenta únicamente los sitios lagunares el mayor porcentaje promedio de COT se registró en la época de estiaje cálido, mientras que en los drenes el mayor porcentaje promedio se registró durante la época de estiaje frío.

Cuando se realiza la mezcla de agua dulce con agua marina, la materia orgánica, nutrientes y elementos traza presentes en el agua dulce, tienden a flocular sin embargo, la alta energía provocada por las velocidades de corrientes y flujos que se presentan en el sistema lagunar, además de impedir que la materia orgánica principalmente de origen alóctono y autóctono se deposite, aumenta su dilución con el agua marina (González-Farías *et al.*, 2006), la alta energía que existe en el sistema, queda evidenciado en el trabajo de Escobedo-Urías *et al.*, (2006) quienes realizaron monitoreos estacionales de régimen nictemeral (26 horas) tomando muestras de agua con botellas Niskin cada dos horas en superficie, fondo y a media agua con el objetivo de cuantificar el carbono orgánico particulado (COP) ellos reportan que durante el otoño de 1999 el sistema, exportó 1,055 t de COP a través de la boca Vasiquilla (Sur) e importó 947 t de COP por la boca Ajoro (Norte), con un balance neto de 108 t exportadas a la plataforma adyacente y durante la primavera del 2000, se exportaron 207 t de COP a través de la boca de Vasiquilla (Sur) y la importación de 305 t de COP se efectuó a través de la boca de Ajoro (Norte) con un balance neto de 97 t incorporadas a la laguna. Por lo que a través de las bocas, el sistema intercambia grandes cantidades de material con el Golfo de California, promoviendo que la materia orgánica particulada generada en el interior del sistema lagunar o incorporada a través de escorrentías o aguas residuales agrícolas puedan ser transportadas a la plataforma continental adyacente (Escobedo-Urías *et al.*, 2006), debido a la dinámica antes descrita del sistema es muy probable que se este impidiendo la depositación de la materia orgánica, lo cuál se ve claramente reflejado en los bajos porcentajes de COT obtenidos en las muestras de sedimento durante la realización de este trabajo.

Otro factor que puede estar influyendo en el poco contenido de COT en sedimentos es el cambio de uso de suelo, ya que la conversión, en este caso de bosque espinoso o selva baja subperennifolia (tipo de vegetación en la zona de acuerdo a Rzedowski, 2006) a campos de cultivo, así como los diferentes sistemas de cultivo y labranza, generalmente disminuyen el contenido de COT (Apezteguía *et al.*, 2008; McCarthy *et al.*, 2008; Stevens y Wesemael, 2008; Wang *et al.*, 2008). Esto se debe a que los cambios en el uso de suelo y el manejo agrícola afectan la formación y estructura de macro y microagregados los cuáles son importantes para la preservación de la materia orgánica en el suelo, los cultivos inducen la compactación del suelo, son más propensos a la erosión hídrica y eólica y disminuye la abundancia de las comunidades de invertebrados en el suelo (Haynes *et al.*, 2003; McCarthy *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2008). De acuerdo a Apezteguía *et al.* (2008) calculó que el COT perdido durante 40 años debido al cambio de uso de suelo fue alrededor del 44 % del contenido original del COT. Murty *et al.* (2002) realizó una revisión de 75 trabajos y calculó una pérdida del 30% de carbono orgánico del suelo después de 10 años de conversión a campos de cultivo.

En la tabla 32 se muestran valores de COT reportados en Sinaloa en los cuáles el porcentaje de CO también es bajo.

Tabla 32. Porcentajes de CO reportados para algunos sistemas de Sinaloa y Sonora.

| Sistema | % C.O. | Referencia |
|--|-----------|-------------------------------------|
| Estuario del Río Culiacán, Sinaloa | 0.3-3.0 | Ruiz-Fernández <i>et al.</i> , 2007 |
| Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa | 0.1-0.5 | Ruiz-Fernández <i>et al.</i> , 2007 |
| Laguna Altata, Sinaloa | 0.8 | Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1992 |
| Lagunas interiores asociadas con Altata, Sinaloa | 1.7 | Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1992 |
| Yavaros, Sonora | 0.70* | Piazza <i>et al.</i> , 2007 |
| Santa Maria, Sinaloa | 1.40* | Piazza <i>et al.</i> , 2007 |
| Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa | 1.18 | Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1998 |
| Navachiste, Sinaloa | 0.03-1.32 | Vergara-Méndez, 1993 |
| Navachiste, Sinaloa | 0.18 * | Piazza <i>et al.</i> , 2007 |
| Navachiste-Macapule, Sinaloa | 0.29-2.67 | En este estudio |

*%M.O=Materia Orgánica

En la época de estiaje cálido no se obtuvieron coeficientes (r) significativos entre el COT y la granulometría. En cambio en la época de lluvias, se registraron coeficientes (r) significativos entre el COT del sistema y de la laguna con las gravas. También entre el COT de los drenes y la fracción de arena y limos-arcillas. En la época de estiaje frío se obtuvieron coeficientes de correlación significativos entre el COT del sistema con las arenas, limos y limos-arcillas. En esta misma época en la laguna los coeficientes de correlación fueron significativos entre las gravas, arenas, limos, arcillas y limos-arcillas.

Se registraron coeficientes de correlación significativos entre el COT y gravas, arenas, limos, arcillas y limos-arcillas, a pesar de que las partículas limo-arcillosas tienen una tendencia a poseer cargas negativas asociadas, siendo rápidamente cubiertas por una capa de materia orgánica, lo que provoca que los sedimentos limo-arcillosos sean ricos en materia orgánica. Durante la época de lluvias y estiaje frío se observó relación entre los sedimentos gruesos (grava y arena) y el contenido de COT. Esto posiblemente se debe a que los sedimentos finos son fácilmente transportados por la dinámica del sistema, propiciando coeficientes de correlación significativos entre los sedimentos gruesos y contenido de COT, a pesar de que las fracciones finas presentan mayor área de sorción que las fracciones gruesas, las cuáles tienen menos capacidad de adsorción (Gao, *et al.*, 1998).

OCs

El hecho de que en este estudio, los niveles de OCs en agua estuvieron por debajo del límite de detección, no significa que no exista presencia de estos compuestos y riesgo para los organismos acuáticos, ya que tienden a depositarse y concentrarse en tejido graso, bioacumulándose y ocasionando a través de la red trófica su biomagnificación (Albert y Loera, 2005; Verma y Rastogi, 1990).

La concentración promedio de los OCs en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule fue 44.75 ng/g. En los sedimentos de la laguna, el valor promedio fue de 18.97 ng/g, mientras que en los drenes el valor promedio fue de 75.69 ng/g.

Durante la época de estiaje cálido (junio) el α -HCH fue el compuesto con mayor frecuencia de detección. Al analizar en forma porcentual los isómeros del HCH detectados reveló que en el sistema se ha empleado el HCH grado técnico como fuente de lindano (γ -HCH) y no el lindano como tal; este último en la formulación del HCH grado técnico tiene un porcentaje del 10-15%, siendo el único isómero con fuertes propiedades insecticidas (Walker *et al.*, 1999). La detección de los isómeros del HCH en sedimentos además de su persistencia se debe a que en México aún se emplea bajo uso restringido de acuerdo a la CICOPALAFEST (2004) para cultivos de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo.

La detección de DDE durante esta época sugiere que el uso del DDT en épocas pasadas se está degradando, considerando que la vida media del DDT es de 3 a 10 años y que la del DDE es de 10 a 30 años (Hwang *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2005 b).

El metoxicloro tuvo una frecuencia de detección del 93 %, esto ya que su uso está restringido en México de acuerdo a la CICOPALAFEST (2004) para cultivos de arroz, avena, cacahuate, cebada, chícharo, frijón, maíz y trigo.

La detección de endrín, indica que ha habido aplicaciones a lo largo del tiempo y recientes aún cuando su uso está prohibido en México de acuerdo a la CICOPALAFEST (2004).

El heptacloro al presentar una frecuencia de detección mayor a la de su epóxido hace suponer una aplicación reciente.

En lo referente al endosulfán, la mayor concentración fue la del sulfato de endosulfán lo que sugiere una aplicación antigua y por lo tanto una degradación activa.

Durante la época de lluvias (agosto) se registraron las concentraciones más altas de OCs en los sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule, esto se puede atribuir a la lluvia, ya que ésta provoca la remoción de materia orgánica y de partículas de arcilla en las capas superiores del suelo de los campos de cultivo, en donde se encuentran adsorbidos los plaguicidas, esta erosión es capaz de remover las capas externas de los agregados y así liberar a los OCs (Ghadiri y Rose, 1993) que posteriormente son transportados por las aguas de escorrentía hacia los drenes y finalmente a la laguna.

El isómero del HCH detectado con mayor proporción fue el β -HCH el cual tiene un porcentaje de 5-12% en la mezcla del HCH técnico, siendo el isómero más persistente y muy lentamente

degrado por la acción microbiana (Gao *et al.*, 2008). Indicando que la aplicación de HCH grado técnico no fue reciente.

Durante esta época se detectó la presencia de DDT y DDE, la presencia de este último indica la degradación aeróbica del DDT (Liu *et al.*, 2008), sin embargo la mayor proporción del DDT sugiere el uso de este compuesto en los campos de cultivo del D.R. 063 aún cuando su uso está restringido únicamente a campañas de salud en caso de emergencia (CICOPLAFEST, 2004).

Las proporciones porcentuales de los drínes detectadas indicaron la aplicación constante de este plaguicida aún cuando está prohibido su uso en México (CICOPLAFEST, 2004).

De acuerdo a las proporciones porcentuales del heptacloro y su metabolito, se deduce que es utilizado en forma constante en el D.R. 063.

El metoxicloro presentó una frecuencia de detección del 87 %.

Respecto al endosulfán, la mayor proporción porcentual de su metabolito, sugiere la aplicación no reciente, sin embargo el sulfato de endosulfán producto de la oxidación del endosulfán resulta un producto sumamente tóxico (Botello *et al.*, 2000).

Durante la época de estiaje (frío) se detectaron concentraciones muy elevadas de DDT, DDE y DDD, posiblemente esto se deba al dragado y remoción de sedimento de los drenes o a una posible aplicación reciente aún cuando está restringido a campañas de salud en casos de emergencia (CICOPLAFEST, 2004).

El isomero del HCH que presentó mayor proporción fue el α -HCH y de acuerdo a las proporciones de los demás isómeros no se puede asegurar si existió aplicación reciente de HCH grado técnico, este último es la principal fuente de α -HCH en el ambiente, pero la conversión del isomero γ -HCH a α -HCH en suelos y sedimentos también contribuye a la acumulación de este isomero, el cual es menos persistente que los isómeros γ -HCH y β -HCH (Walker *et al.*, 1999).

Las proporciones porcentuales del endosulfán sugieren aplicación reciente en las zonas aledañas al sistema, ya que el uso de este plaguicida está permitido en México para diversos cultivos (CICOPLAFEST, 2004).

El metoxicloro presentó una frecuencia de detección del 64%.

En general durante las tres épocas en las que se realizó este trabajo las mayores concentraciones de OCs se registraron en los drenes, debido por éstos se conducen los desechos agrícolas de los campos de cultivo del D.R. 063, sugiriendo que la distribución de los OCs está principalmente relacionada a la proximidad y a la importancia de las fuentes de contaminación.

Los isómeros del HCH y el metoxicloro fueron los compuestos que presentaron las mayores frecuencias de detección en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, de acuerdo a la CICOPLAFEST (2004) el uso de estos dos compuestos permitido bajo la categoría de restringido a ciertos cultivos en el caso del lindano para avena, trigo, cebada, maíz, trigo y sorgo y el metoxicloro para cultivos de arroz, avena, cacahuate, cebada, chicharo, frijol, maíz y trigo.

El Endosulfán y sus metabolitos que también fueron detectados en el sistema, este compuesto en México tiene un uso permitido (CICOPLAFEST, 2004) para cultivos de alfalfa, algodón, apio, berenjena, brócoli, cafeto, calabacita, calabaza, cártamo, caña de azúcar, cebada, chabacano, chicharo, chile, ciruelo, col, durazno, fresa, jitomate, papa, maíz, frijol y otros más.

Sin embargo también se detectó presencia de OCs prohibidos en México debido a posibles aplicaciones recientes de DDT y endrín, el primero de acuerdo a la CICOPLAFEST (2004) su uso está prohibido en la agricultura, únicamente se puede emplear en campañas de salud en caso de emergencia y el uso del endrín está completamente prohibido en México (CICOPLAFEST, 2004).

Por lo que es necesario el constante monitoreo de los plaguicidas y cantidades que se aplican para fines agrícolas.

En la Tabla 31 se muestran valores máximos reportados para OCs en sedimentos de sistemas lagunares de Sonora y Sinaloa, en general, los valores máximos reportados en este estudio, estuvieron por debajo de los valores máximos reportados por los demás trabajos, excepto el endrín, endrín aldehído, α -HCH y β -HCH.

En la época de estiaje cálido se presentaron coeficientes de correlación significativos entre los OCs totales con arenas, limos, arcillas, limos-arcillas. En la época de lluvias los coeficientes de correlación significativos fueron entre los OCs (laguna) y COT, entre los hidrocarburos

aromáticos (totales) y COT, entre los hidrocarburos aromáticos (laguna) y COT. En la época de estiaje frío los coeficientes de correlación significativos fueron entre los hidrocarburos alicíclicos (laguna) y las gravas, entre los hidrocarburos ciclodiénicos (totales) y los limos y limos-arcillas.

En este trabajo se esperaban más coeficientes de correlación significativos entre los OCs, el COT y los sedimentos finos, dado que en experimentos de laboratorio se ha demostrado que la sorción de compuestos no polares, está correlacionada al contenido de carbono orgánico de los sorbentes, como consecuencia de la constante de equilibrio de partición para contaminantes orgánicos hidrofóbicos, la cuál esta normalizada con el porcentaje de carbono orgánico, asumiendo que el carbono orgánico de diferentes orígenes tiene similares afinidades a los contaminantes orgánicos hidrofóbicos (Edgar *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2007). Sin embargo varios autores (Edgar *et al.*, 2003; Hong *et al.*, 2008 y Secco *et al.* 2005) han reportado la ausencia de correlación entre los compuestos clorados y el contenido de COT o el tamaño de partículas. Esto lo atribuyen a que es más importante el origen de la materia orgánica, ya que influye más en la afinidad entre el sedimento y los compuestos clorados, que la cantidad de COT presente en los sedimentos. Las diferencias en la composición de la materia orgánica cuantificada por las relaciones entre C/N y C/H pueden explicar la alta sorción de los sedimentos para compuestos clorados, sin dejar de considerar que también influye la variación mineralógica de las fracciones granulométricas de los sedimentos (Edgar *et al.*, 2003). Esto podría explicar en parte la no correlación entre los OCs y el COT de los sedimentos, así como la poca correlación entre los OCs y los sedimentos finos en este estudio. Sin olvidar que las mayores concentraciones promedio de OCs se registraron en los drenes y los mayores porcentajes de COT en la laguna, por lo que la ausencia de correlación entre los OCs y COT y entre los OCs y los sedimentos finos, también se puede deber a la existencia de zonas con menor contaminación de OCs en la laguna pero con mayor contenido de COT, mientras que en los sedimentos de los drenes, que tienen menor contenido de COT poseen mayores concentraciones de OCs debido a la gran afinidad de los componentes lipofílicos de los sedimentos y a que los compuestos orgánicos tienden a acumularse cerca de las fuentes de suministro (Secco *et al.*, 2005).

Al comparar las concentraciones obtenidas en este estudio con las tablas de Tablas de Referencia de Compuestos Orgánicos (NOAA, 2004) y la Guía Canadiense de la Calidad Ambiental de

Sedimentos (CCME, 2002) en algunos casos se sobrepasan las concentraciones a las cuáles se podrían presentar efectos adversos en los organismos acuáticos, lo cual puede tener un gran impacto en los organismos de la zona debido a la bioacumulación y biomagnificación, por lo que es necesario realizar estudios ecotoxicológicos empleando especies endémicas para una evaluación adecuada de la contaminación por OCs en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México.

Por la dinámica del sistema. Lagunar Navachiste-Macapule y el poco contenido de carbono orgánico de los sedimentos los OCs podrían estar siendo exportados al mar abierto ya que la pérdida de OCs depende de las propiedades del suelo y de las características hidrológicas por lo que es recomendable el continuo monitoreo de los OCs en la zona.

Tabla 33. Valores máximos de OCs presentes en sedimento en ecosistemas costeros de Sonora y Sinaloa.

| Compuesto | Rosales <i>et al.</i> , 1985 | | Carvalho <i>et al.</i> , 1996 | González-Farías <i>et al.</i> , 2006 | Carvalho <i>et al.</i> , 2002 | Galindo <i>et al.</i> , 1999b | Galindo <i>et al.</i> , 1999a | | Osuna-Flores y Riva, 2002 | González Farías <i>et al.</i> , 2002 | ESTE ESTUDIO |
|--------------------|------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| | Yavaros, Sonora | Huizache-Camainero | Altata-Ensenada del Pabellón | Altata-Ensenada del Pabellón | Altata-Ensenada del Pabellón | Bahía Ohuira | Bahía Santa María | Ensenada del Pabellón | Bahía Ohuira | Agiabampo Bacorehuis Jitzamuri | Navachiste-Macapule |
| | Sed (ng/g) | Sed (ng/g) | Sed (ng/g) | Sed (ng/g) | Sed (ng/g) | Sed (ng/g) | Sed (ng/g) | Sed (ng/g) | Sed (ng/g) | Sed(ng/g) | Sed (ng/g) |
| pp'- DDT | | | | 41.01 | 4 | | 0.008 | | 26 | 51.56 | 1.78 |
| pp'-DDE | | | 2.16 | 5.38 | 26 | | 0.0006 | | 123 | 0.49 | 2.8 |
| pp'-DDD | | | 0.33 | 11.66 | 11 | 2.03 | 0.0064 | | | 12.95 | 0.59 |
| DDT total | 7.62 | 16.4 | | | 45 | | | | | | 5.17 |
| Metoxicloro | | | | | | | | | | | 42.08 |
| Aldrín | 1.85 | 6.95 | n.d | 15.68 | 0.6 | 1.96 | 0.01162 | 0.0271 | | 1.89 | 0.58 |
| Dieldrín | 5.85 | | 0.043 | 18.29 | 1 | 51.04 | 0.0196 | 0.0421 | | 4.63 | 2.5 |
| Endrín | | | 0.166 | 18.53 | 2.9 | | | | | nd | 26.99 |
| Endrín aldehído | | | | | | 1.05 | | | | | 1.38 |
| Endrín cetona | | | | | | | | | | | 9.81 |
| αHCH | | | | 14.13 | 2 | 5.03 | | | | 5.55 | 41.26 |
| βHCH | | | | 19.48 | 4 | | | | | 30.36 | 533.25 |
| Lindano | | | 0.24 | 9.48 | 1.2 | | 0.089 | 0.0087 | | 1.13 | 7.65 |
| δ HCH | | | | | | | | | 1190 | 4.87 | 70.23 |
| HCH | 10.45 | 5.1 | | | | | | | | | 652.39 |
| Heptacloro | 5.4 | 18.2 | | 32.42 | 0.02 | 60 | | 0.0092 | 57 | 49.08 | 17.92 |
| Heptacloro epóxido | 4.29 | 8.8 | | | | 43.03 | 0.0931 | 0.0092 | 132 | 64.5 | 0.61 |
| α-Endosulfán | | | 1.2 | | 1 | 155.02 | | | 45 | 2.8 | 6.17 |
| β-Endosulfán | | | 0.08 | | 5 | | | | | 0.55 | 2.53 |
| Endosulfán sulfato | | | 1.5 | | 20 | | | | | 6.81 | 9.41 |

Sed=sedimento

10. CONCLUSIONES

- Los sedimentos superficiales del sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa están contaminados con OCs. Detectándose aplicaciones recientes de OCs prohibidos y de uso restringido en México.
- La concentración promedio de los plaguicidas en sedimentos del sistema lagunar Navachiste-Macapule fue de 44.75 ng/g, registrándose las mayores concentraciones en los drenes debido a su cercanía con los campos de cultivo del D.R 063 los cuales son el punto de descarga de los OCs.
- Los niveles más elevados de OCs se registraron en la época de lluvias (agosto).
- El valor promedio del COT en el sistema fue de 0.90 %, con un intervalo entre 0.24 % a 2.67 %.
- En la laguna se registró el mayor porcentaje de COT con 0.92 % y en los drenes 0.87 %.
- El predominio del sedimento arenoso se registró en la laguna, mientras que la fracción limosa en los drenes.
- En general no existieron coeficientes de correlación significativos entre los OCs del sedimento del sistema, el COT y las fracciones granulométricas finas del sedimento del sistema Navachiste-Macapule.
- HCH, metoxicloro y endrín las mayores frecuencias de detección en los sedimentos del sistema.
- El γ -HCH, dieldrín, endrín, DDT total excedieron los respectivos niveles establecidos por NOAA (2004) y CCME (2002) y podrían bioacumularse en los organismos del sistema y ocasionar transferencia a través de la red trófica.

- Es necesario evaluar la concentración de OCs en organismos de la zona y realizar estudios ecotoxicológicos empleando especies endémicas para una evaluación adecuada de la contaminación por OCs en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México.

11. REFERENCIAS

Aguilera, N. (1989). Tratado de Edafología de México. Tomo I. México: Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 222 p.

Albert, L. y Benítez, J. (2005). Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros, p. 157-176. 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. México: Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Albert, L. y Loera, R. (2005). Química y ecotoxicología de los insecticidas, p. 177-190. 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. México: Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Alegria, H., Bidleman, T. y Figueroa, M. (2006). Organochlorine pesticides in the ambient air of Chiapas, Mexico. *Environ. Pollut.*, 140, 483-491.

Alejandre, S. (2007). Evaluación del efecto de plaguicidas en *Mytella strigata* del estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. Exposición *In situ*. Tesis Maestría. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 106 p.

Apezteguía, H., Izaurralde, R. y Sereno, R. (2008). Simulation study of soil organic matter dynamics as affected by land use and agricultural practices in semiarid Córdoba, Argentina. *Soil. Till. Res.* Doi:10.1016/1.still.2008.07.016.

Arata, A. (1986). Perspectivas del uso de plaguicidas: historia, situación actual y necesidades futuras. En: *Plaguicidas, salud y ambiente*. Memorias de los talleres de: San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

ASTDR. Agency for Toxic Substances & Disease Registry (2000). Toxicological profile for endosulfan. Consultada en junio de 2008, de http://www.astdr.cdc.gov/es/es_index.html.

ASTDR. Agency for Toxic Substances & Disease Registry (2002a). Toxicological profile for methoxychlor. Consultada en junio de 2008, de http://www.astdr.cdc.gov/es/es_index.html.

ASTDR. Agency for Toxic Substances & Disease Registry (2002b). Toxicological profile for DDT, DDE and DDD. Consultada en junio de 2008, de http://www.astdr.cdc.gov/es/es_index.html.

ASTDR. Agency for Toxic Substances & Disease Registry (2002c). Toxicological profile for aldrin/dieldrin. Consultada en junio de 2008, de http://www.astdr.cdc.gov/es/es_index.html.

ASTDR. Agency for Toxic Substances & Disease Registry (2005). Toxicological profile for alpha, beta, gamma and delta-hexachlorocyclohexane. Consultada en junio de 2008, de http://www.astdr.cdc.gov/es/es_index.html.

ASTDR. Agency for Toxic Substances & Disease Registry (2007). Toxicological profile for heptachlor and heptachlor epoxide. Consultada en junio de 2008, de http://www.astdr.cdc.gov/es/es_index.html.

Banerjee, B. (1999). The influence of various factor son immune toxicity assessment of pesticide chemicals. *Toxicol. Lett.*, 107, 21-31.

Berlanga, C., Ruiz-Luna, A., Covarrubias-Legaspi, O. y Ventura-Leonardo, A. (2008). Cambios de los patrones de escurrimiento en la cuenca Lechuguilla-Ohuira-Navachiste, México. Consultada en junio de 2008 de www.isprs.org/publications/related/semana_geomatica05/front/abstracts/Dijous10/S08.doc.

Borrell, A., Cantos, G., Aguilar, A., Lockyer, C., Brouwer, A., Heide-Jergensen, M., Jensen, J. y Spengelink, B. (1999). Patterns of variability of retinol levels in a harbor porpoise population from an unpolluted environment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 185, 85-92.

Botello, A., Rueda-Quintana, L., Díaz- González, G y Toledo, A. (2000). Persistent Organochlorine Pesticides (POPs) in Coastal Lagoons of the Subtropical Mexican Pacific. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 64, 390-397.

CAADES. Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa. Consultada en mayo de 2008 de www.caades.org.mx.

Carvalho, F., Fowler, S., González-Farias, F., Mee, L. y Readman, J. (1996). Agrochemical residues in the Altata-Ensenada del Pabellón coastal lagoon (Sinaloa, Mexico): a need for integrated coastal zone management. *Int. J. Environ. Health. Research.*, 6, 209-220.

Carvalho, F., González-Farias, F., Villeneuve, J., Cattini, C., Hernandez-Garza, M., Mee, L. y Fowler, S. (2002). Distribution, fate and effects of pesticide residues in tropical coastal lagoons of northwestern Mexico. *Environ. Toxicol.*, 23, 1257-1270.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). (2002). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. In: Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment. Consultada en agosto de 2008 de <http://documents.ccme.ca/>.

CICOPLAFEST (2004). Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST). Consultada en agosto de 2006 de www.cofepris.gob.mx/cis/tramites/infPynv/InfRegPlagNutVeg.htm.

Cisneros-Estrada, X. y González-Farias, F. (2007). Estudio comparativo del uso de agroquímicos en dos distritos agrícolas de la región del Pacífico Norte. Memorias del XVI Congreso Nacional de Irrigación: Modernizar el riego, un imperativo para México, ANEI, A.C. 3-5 de octubre del 2007. Morelia, Michoacán:16-25.

- CNA (2002). Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Río Sinaloa, Estado de Sinaloa. Consultada en enero de 2008 de www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/DR2502.pdf.
- CNA. (2007). Evaluación de resultados del programa de rehabilitación y modernización de distritos de riego del ejercicio fiscal 2006, sujeto a reglas de operación vigentes a cargo de la Comisión Nacional del Agua. “Distrito de Riego 063, Guasave, Sinaloa”. Consultada en enero de 2008 de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/INFORMEDR0632007.pdf>.
- Diccionario de datos edafológicos (1998). México: INEGI. Consultada en junio de 2008 de mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/diccio/eda_250.pdf.
- De la Lanza, G., (2001). Características fisicoquímicas de los mares de México. Ed. Plaza y Valdez. México. 152 pp.
- Delgadillo-Hinojosa, F., Macías-Zamora, J., Segovia-Zavala, J. y Torres-Valdés, S. (2001). Cadmium enrichment in the Gulf of California. *Mar. Chem.*, 75, 109-122.
- Edgar, P., Hursthouse, A., Matthewa, J. y Davies, I. (2003). An investigation of geochemical factors controlling the distribution of PCBs in intertidal sediments at a contamination hot spot, the Clyde estuary, UK. *Appl. Geochem.*, 18, 327-338.
- EPA (1980). Ambient water quality criteria. EPA 440/5-80-046. Consultada en junio de 2008 de www.epa.gov.
- Escobedo-Urías, D. Martínez-López, A., Jiménez-Illescas, Á., Ulloa-Pérez, A. y Zavala-Norzagaray, A. (2006). Intercambio de carbono orgánico particulado del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste, Sinaloa, con el mar adyacente. Consultada en junio de 2008 de www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/531/cap11.pdf. 171-185 .
- Escobedo-Urías D. (2008). Comunicación verbal.

Espina, S. y Vanegas, C. (2005). Ecotoxicología y contaminación, p 79-120. En: A. V. Botello, J, Rendón-Von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds). Golfo de México Contaminación e impacto Ambiental: Diagnostico y tendencias, México: Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

FAO (1986). Código Internacional de Conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Consultada en agosto de 2007 de www.fao.org/DOCREP/006/Y4544S/y4544s02.htm#bm2.1.

Favari, L., López, E., Martínez-Tabche, L. y Díaz Pardo, E. (2002). Effect of insecticides on plankton and fish of Ignacio Ramirez Reservoir (México): A biochemical and biomagnification study. *Ecotox. Environ. Safety.*, 51(3), 177-186.

Flores-Verdugo, F. (1989). Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar. Cap 2; 21-56. En: Rosa-Vélez J. de la y F. González-Farías (eds). *Temas de Oceanografía Biológica en México*. México: Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada. 337 pp.

Folk, R. (1974). Petrology of sedimentary rocks. Ed. Hemphill Publishing Company. United States of America. 182 pp.

Galindo, G., Villagrana, C. y Lazcano, G. (1999a). Environmental conditions and pesticide pollution of two coastal ecosystems in the Gulf of California, Mexico. *Ecotox. Environ. Safety.*, 44, 280-286.

Galindo, J., Fosfato, V., Villagrana-Lizarraga, C. y Dolci, F. (1999b). Pesticides in water, sediments, and shrimp from a coastal lagoon of the Gulf of California. *Mar. Pollut. Bull.*, 38(9), 837-841.

Galindo, J., Medina, A. y Villagrana, C. (1996a). Toxic effects of organochlorine pesticides on *Penaeus vannamei* shrimps in Sinaloa, Mexico. *Chemosphere.*, 33(3), 567-575.

Galindo, J., Medina, A. y Villagrana, C. (1996b). Physiological and biochemical changes in shrimp larvae (*Penaeus vannamei*) intoxicated with organochlorine pesticides. *Mar. Pollut. Bull.*, 32(12), 872-875.

Gao, J., Maguhn, J., Spitzauer, P. y Kettrup, A. (1998). Sorption of pesticides in the sediment of the Teufelsweiher pond (southern Germany). I: equilibrium assessments, effect of organic carbon content and pH. *Wat. Res.*, 32(5), 1662-1672.

Gaudette, H., Fligart, W., Torner, L., y Folger, D. (1974). An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Sediment. Petrology.*, 44, 249-253.

Ghadiri, H. y Rose, C. (1993). Water erosion processes and the enrichment of sorbed pesticides. Part 1. Enrichment mechanisms and the degradation of applied pesticides. *J. Environ. Manage.*, 37, 23-35.

Gil, Y. y Sinfort, C. (2005). Emission of pesticides to the air during sprayer application: a bibliographic review. *Atmos. Environ.*, 39, 5183-5193.

González-Farias, F. y Hernández Garza, M. (1989). Aspectos ecológicos de la materia orgánica en lagunas costeras de México. Cap.4: 79-105. En: Rosa- Vélez J. de la y F. González-Farias (eds). *Temas de Oceanografía Biológica en México*. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada. 337 pp.

González-Farias, F. Cisneros, X., Fuentes, C., Díaz, G. y Botello, A. (2002). Pesticides distribution in sediments of a tropical coastal lagoon adjacent to an irrigation district in northwest Mexico. *Environ. Technol.*, 23, 1247-1256.

González- Farias, F. (2003). Pesticides in the coastal zone of Mexico. En: Taylor M., Klaine, S., Carvalho, F., Barceló, D. y J. Everaarts (Eds.): *Pesticides Residues in Coastal Tropical Ecosystems. Distribution, fate and effects*. Taylor and Francis, London, Chapter 11, pp. 311-337.

González-Farias, F., Hernández-Garza, M. y Díaz-González, G. (2006). Organic carbon and pesticide pollution in a tropical coastal lagoon-estuarine system in Northwest Mexico. *Int. J. Environ Pollut.*, 26, 234-253.

Gutiérrez-Galindo, E., Ríos, L., Flores, G. y Villescusa, J. (1997). Chlorinated Hydrocarbons in marine sediments of Baja California (Mexico)- California (USA) Border Zone. *Mar. Pollut. Bull.*, 36(1), 27-31.

Gobierno del Estado de Sinaloa (2001). Gobierno del Estado de Sinaloa- Municipios- Bienestar social y servicios públicos. Consultada en febrero de 2007 de <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/sinaloa/mpios/25011a.htm>.

Haynes, R., Dominy, C. y Graham, M. (2003). Effect of agricultural land use on soil organic matter status and the composition of earthworm communities in KwaZulu-Natal, South Africa. *Agr. Ecosyst. Environ.* 95,. 453-464.

H. Ayuntamiento de Guasave, Sinaloa (2005). Consultada en junio de 2007 de <http://guasave.gob.mx/>.

Henao, S. y Corey, G. (1986). Plaguicidas organofosforados y carbámicos. Serie vigilancia 2. Centro Panamericano de Ecología Humana y salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización mundial de la Salud.

Hernández, R., Koedman, N., Ruiz, A., Troell, M. y Dahdouh-Guebas, F. (2005). Remote sensing and ethnobotanical assessment of the mangrove forest changes in the Navachiste-San Ignacio-Macapule lagoon complex, Sinaloa, Mexico. *Ecology and Society* 10(1), 16. Obtenida en junio de 2008 de <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art16>.

Hernández, S., Franco, C. y Herrera, C. (2008). Carbono orgánico y materia orgánica en sedimentos superficiales de la bahía Concepción. *Ciencia...Ahora*, 21(11):28-34.

Hilscherova, K., Dusek, L., Kubik, V., Cupr, P., Hofman, J., Klanova, J. y Holoubek, I. (2007). Redistribution of organic pollutants in river sediments and alluvial soils related to major floods. *J. Soils Sediments.*, 7(3), 167-177.

Hong, S., Yim, U., Shim, W., Oh, J., Viet, P. y Park, P. (2008). Persistent organochlorine residues in estuarine and marine sediments from Ha Long Bay, Hai Phong Bay and Bay Lat estuary, Vietnam. *Chemosphere.*, 72, 1193-1202.

Hwang, H., Green, P. y Young, T. (2006). Tidal salt marsh sediment in California, USA. Part. 1: Occurrence and sources of organic contaminants. *Chemosphere.*, 64, 1383-1392.

INIFAP. (2003). *Guía para la asistencia técnica agrícola para el área de influencia del campo experimental Valle del Fuerte*. Centro de investigación regional del noroeste, campo experimental Valle del Fuerte. Agenda Técnica sexta edición.

Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI). (2000). Cuaderno estadístico municipal de Guasave, Sinaloa. Gobierno del Estado de Sinaloa, Culiacán Rosales, México. Obtenida en junio de 2008 de <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee05/estatal/sin/index.htm>.

Islam, S. y Tanaka, M. (2004). Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Mar Pollut. Bull.*, 48, 624-649.

Kasper-Zubillaga, J., Carranza-Edwards, A. y Morales De la Garza, E. (2007). Caracterización textural de la arena de playa del Golfo de California, México: Implicaciones para los procesos costeros y el relieve. *Ciencias Marinas.*, 33(1), 83-94.

Kawai, S., Kobayashi, M. y Kaneko, H. (2003). Effects of endocrine active substances in wildlife species: genetic, biochemical, and physiological factors in variable susceptibility to endocrine disruptors. *Pure. Appl. Chem.*, 75(11-12), 2335-2341.

Lankford, R., (1977). Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification. En: Wiley, M.(Ed). Estuarine Processes. Circulation, sediments and transfer of materials in the estuary. Nueva York: Academic Press Inc. 2, 182-215.

Lee, K., Tanabe, S. y Koh, C. (2001). Distribution of organochlorine pesticides in sediments from Kyeonggi Bay nearby areas, Korea. *Environ. Pollut.*, 114, 207-213.

Leyva-Cardoso, D., Ponce-Vélez, G., Botello, A y Díaz-González, G. (2003a). Persistent Organochlorine pesticides in coastal sediments from Petacalco Bay, Guerrero, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 71, 1244-1251.

Leyva-Cardoso, D., (2003b). *Análisis del grado de contaminación por plaguicidas organoclorados en la zona costera de la bahía de Petacalco, Guerrero*. Tesis de licenciatura. México: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. 112 p.

Libes, S. (1992). An introduction to marine biogeochemistry. Jonh Wiley & Sons, Inc. USA.
465 p.

Li, J., Zhang, G., Guo, L., Xu, W., Li, X., Lee, C., Ding, A. y Wang, T. (2007). Organochlorine pesticides in the atmosphere of Guangzhou and Hong Kong: regional sources and long-range atmospheric transport. *Atmos. Environ.*, DOI:10.1016/j.atmosenv.2006.12.052.

Liu, M., Li, C., Zheng, M., Wang, L., Li, S., Ba, T., Su, G., Gao, L. y Zhang, L. (2008). Distribution of DDT in a Typical DDT waste contaminated site. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, DOI 10.1007/s00128-008-9362-4.

McCarthy, F., Ilavsky, J., Jastrow, D., Mayer, L., Perfect, E. y Zhuang, J. (2008). Protection of organic carbon in soil microaggregates via restructuring of aggregate porosity and filling of pores with accumulating organic matter. *Geochim. Cosmochim. Ac.* 72, 4725-4744.

- Malik, A., Singh, P. y Ojha, P. (2007). Residues of organochlorine pesticides in fish from the Gomti river, India. *Bull. Environ. Toxicol.*, 78, 335-340
- Montaño-Ley, Y., Peraza-Vizcarra, R. y Páez-Osuna, F. (2007). The Tidal Hydrodynamics modeling of the Topolobampo coastal lagoon system and the implications for pollutant dispersion. *Environ. Pollut.*, 147, 282-290.
- Müller, K., Magesan, G. y Bolan, N. (2007). A critical review of the influence of effluent irrigation on the fate of pesticides in soil. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 120, 93-116.
- Murty, D., Kirschbaum, M., McMurtrie, R. y McGilvray, H. (2002). Does conversión of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. *Global. Change. Biol.* 8, 105-123.
- Morales-Pérez, R. y Gutiérrez de Velasco, G. (1989). Mareas en el Golfo de California. *Geof. Int.*, 28(1), 25-46.
- NOAA (2004). National Oceanic and Atmospheric Administration. Screening Quick Reference Tables. Consultada en abril de 2008 de www.noaa.gov/.
- Orduña-Rojas, J. y Longoria-Espinoza, R. (2006). Metal concentration in *Ulva lactuca* (Linnaeus) from Navachiste Bay (Southeast Gulf of California) Sinaloa, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 77, 574-580.
- Osuna-Flores, I. y Riva, M. (2002). Organochlorine pesticide residue concentrations in shrimps, sediments, and surface water from Bay of Ohuira, Topolobampo, Sinaloa, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 68, 532-539.
- Páez-Osuna, F., Bojórquez-Leyva, H. y Green-Ruiz, C. (1998). Total carbohydrates: organic carbon in lagoon sediments as an indicator of organic effluents from agriculture and sugar-cane industry. *Environ. Pollut.*, 102, 321-326.
- Páez-Osuna, F., Bojórquez-Leyva, H. y González-Farías, F. (1992). Carbono y fósforo en sedimentos de un sistema lagunar asociado a una cuenca de drenaje agrícola. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y limnología.* 19 (1).

Pandya, G., Kumar, K., Devi, S., Kondawar, V. y Chakrabarti, T. (2006). Evaluation of HCH, DDT and Endosulfan levels in soil by gas chromatography/ tandem mass spectrometry. *Soil & Sediment Contamination.*, 15, 529-541.

Parikh, S., Chorover, J. y Burgos, W. (2004). Interaction of phenanthrene and its primary metabolite (1-hidroxy-2-naphthoic acid) with estuarine sediments and humic fractions. *J. Contam Hydrol.*, 72, 1-22.

Pathak, R., Suke, S., Ahmed, R., Tripathu, A., Guleria, K., Sharma, C., Makhijani, S., Mishra M. y Banerjee, B. (2008). Endosulfan and other organochlorine pesticide residues in maternal and cord blood in north Indian population. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, DOI 10.1007/s00128-008-9459-9.

Piazza, R., Ruiz-Fernández, A., Frignani, M., Zangrado, R., Bellucci, L., Moret, I y Paéz-Osuna, F. (2007). PCBs and PAHs in surficial sediments from aquatic environments of Mexico city and coastal states of Sonora, Sinaloa, Oaxaca and Veracruz. *Environ Geol.*, DOI 10.1007/s00254-007-0935-z.

Rendón-von Osten, J., Soares, A. y Guilhermino, L. (2005). Black-Bellied whistling duck (*Dendrocygna autumnalis*) brain cholinesterase characterization and diagnosis of anticholinesterase pesticide exposure in wild populations from Mexico. *Environ. Toxicol. Chem.*, 24, 313-317.

Rivero-Rodríguez, L., Borja-Aburto, V., Santos-Burgoa, C. y Waliszewsky, S. (1997). Exposure assessment for workers applying DDT to control malaria in Veracruz. *Environ. Health Persp.*, 105 (1), 98-101.

Robledo-Marenco, M., Botello, A., Romero-Bañuelos, C. y Díaz-González, G. (2006). Presence of persistent organochlorine pesticides in estuarios of the subtropical mexican Pacific. *Int. J. Environ. Pollut.* 26, 284-294.

Rosales, M., Escalona, R., Alarcón, R. y Zamora, V. (1985). Organochlorine hydrocarbon residues in sediments of two different lagoons of northwest Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 35, 322-330.

Rueda, L. (1997). *Evaluación de plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos de los sistemas lagunares Chanuto-Panzacola y carretas-Pereyra, Chiapas, México*. Tesis de Maestría. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 88 p.

Ruiz-Fernández, A., Frignani, M., Tesi, T., Bojórquez-Leyva, H., Bellucci, L. y Páez-Osuna, F. (2007). Recent sedimentary history of organic matter and nutrient accumulation in the Ohuira lagoon, Northwestern Mexico. *Arch. Contam. Toxicol.* 53, 159-167.

Rzedowski, J., 2006. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Obtenida en diciembre de 2008 en http://www.conabio.gob.mx/institucion/centrodoc/doctos/vegetacion_de_mexico.html.

SAGARPA. *Ecosistemas lagunares costeros* (2004). Obtenida en febrero de 2007 de http://www.sagarpa.gob.mx/conapesca/ordenamiento/carta_nacional_pesquera/180204/6_Sistemas_lagunares/2_EcoLagCost.pdf

Sanpera, C., Ruiz, X., Llorente, G., L. Jover, y Jabeen, R. (2002). Persistent organochlorine compounds in sediment and biota from the Haleji lake: A Wildlife Sanctuary in south Pakistan. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 68, 237-244.

Sarkar, S., Binelli, A., Riva, C., Parolini, M., Chatterjee, M., Bhattacharya, A. y Satpathy, K. (2007). Organochlorine pesticide residues in sediment cores of sunderban wetland, northeastern part of bay of Bengal, India, and their ecotoxicological significance. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* DOI 10.1007/s00244-008-9133-6.

Servicio Meteorológico Nacional. Obtenida en junio de 2008 de <http://smn.cna.gob.mx>.

- Singh, K., Malik, A., Mohan, D. y Sinha, S. (2005a). Persistent Organochlorine pesticide residues in alluvial groundwater aquifers of gangetic plains, India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 74, 162-169.
- Singh, K., Malik, A., Mohan, D. y Takroo, R. (2005b). Distribution of persistent organochlorine pesticide residues in Gotmi river, India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 74, 146-154.
- Snedeker, S. (2001). Pesticides and breast cancer risk: a review of DDT, DDE, and Dieldrin. *Environ. Health Persp.*, 109(1), 35-47.
- Secco, T., Pellizzato, F., Sfriso, A. y Pavón, B. (2005). The changing state contamination in the lagoon of Venice. Part 1: organic pollutants. *Chemosphere.*, 58, 279-290.
- Stevens, A. y Wesemael, B. (2008). Soil organic carbon stock in the Belgian Ardennes as affected by afforestation and deforestation from 1968 to 2005. *Forest. Ecol. Manag.*, 256, 1527-1539.
- Thomas, P. (1995). Pesticide-induced immunotoxicity: are Great Lakes residents at risk?. *Environ. Health Persp.*, 103(9), 55-61.
- Tuduri, L., Harner, T., Blanchard, P., Li, Y., Poissant, L., Waite, D., Murphy, C. y Belzer, W. (2006). A review of currently used pesticides (CUPs) in Canadian air and precipitation: Part 1: Lindane and endosulfans. *Atmos. Environ.*, 40, 1563-1578.
- UNEP/IAEA. (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.
- Van der Werf, H. (1996). Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 60, 81-96.
- Verma, S. y Rastogi, A. (1990). Organic pesticides lipid-lipid-protein domains in model membranes. A laser Raman study. *Biochimica et Biophysica Acta.*, 1027,59-64.

Vergara-Méndez, S. (1993). Sedimentología de las bahías San Ignacio Navachiste y plataforma interna continental adyacente, Edo. de Sinaloa. Tesis profesional. México: Fac. Ingeniería. UNAM. 96 pp.

Waliszewski, S., Infanzon, R. y Hart, M. (2003). Differences in persistent organochlorine pesticides concentration between breast adipose tissue and blood. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 70, 920-926.

Waliszewski, S., Carvajal, O., Infanzon, R, Trujillo, P. y Hart, M. (2004a). Copartition ratios of persistent organochlorine pesticides between human adipose tissue and blood serum lipids. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 73, 732-738.

Waliszewski, S., Carvajal, O., Infanzon, R. y Gómez-Arroyo, S. (2004 b). Organochlorine pesticide levels in blood serum samples taken at autopsy from auto accident victims in Veracruz, Mexico. *Arch. Environ. Health.*, 59(9), 441-448.

Waliszewski, S., Bermúdez, M., Infanzon, R., Silva, C., Carvajal, O., Trujillo, P., Gómez, S., Villalobos, R., Saldaña, V., Melo, G., Esquivel, S., Castro, F., Ocampo, H., Torres J. y Hayward-Jones, P. (2005). Persistent organochlorine pesticide levels in breast adipose tissue in women with malignant and benign breast tumors. *Bull. Environ. Contam Toxicol.*, 75, 757-759.

Walker, K., Vallero, D., y Lewis, R. (1999). Factors influencing the distribution of lindane and other hexachlorocyclohexanes in the environment. *Environ. Sci. Technol.*, 33(24), 4373-4378.

Wang, Z., Han, X. y Li, L. (2008). Effects of grassland conversión to croplands on soil organic carbon in the temperate inner Mongolia. *J. Environ. Manage.*, 86, 529-534.

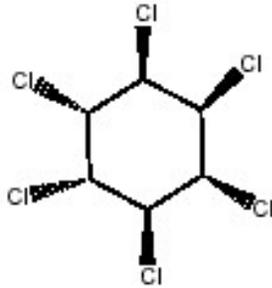
Yeo, H., Choi, M. y Sunwoo, Y. (2004). Seasonal variations in atmospheric concentrations of organochlorine pesticides in urban and rural areas of Korea. *Atmos. Environ.*, 38, 4779-4788.

REFERENCIAS

Zhang, P., Song, J., Liu, Z., Zheng, G., Zhang, N. y He, Z. (2007). PCBs and its coupling with eco- environments in southern Yellow Sea surface sediments. *Mar. Pollut. Bull.*, 54, 1105-1115.

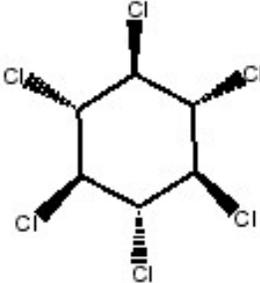
12. ANEXO

Características físico-químicas de los OCs

| | |
|--------------------------------|--|
| α -hexaclorociclohexano | |
| Sinónimos | 1-alfa, 2-alfa, 3-beta, 4-alfa, 5-beta, 6-beta-benceno-trans-hexacloruro; alfa-1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano; alfa-BHC; alfa-HCH; alfa-hexa-cloran; alfa-hexaclorociclo-hexano; alfa-lindano; |
| Fórmula | $C_6H_6Cl_6$ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 290.83 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 159–160 °C |
| Punto de ebullición | 288 °C a 760 mm Hg |
| Densidad (g/cm ³) | 1.87 a 20 °C |
| Solubilidad | |
| Agua | 10 ppm a 28 °C |
| Solventes orgánicos | Soluble en alcohol, 1.8 g/100 g en etanol; 6.2 g/100 g en éter a 20°C. |
| Coefficientes de partición | |
| Log K _{ow} | 3.8 |
| Log K _{oc} | 3.57 |
| Presión de vapor | 4.5x10 ⁻⁵ mmHg a 25°C 0.00087 mm Hg a 50°C* |
| Constante de la ley de Henry | 6.86x10 ⁻⁶ |

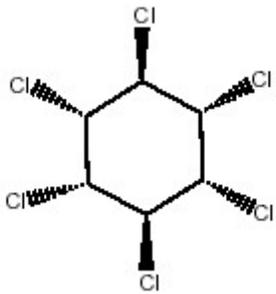
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc} = Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo.

ASTDR (2005);* EPA.1980

| | |
|-------------------------------|---|
| β -hexaclorociclohexano | |
| Sinónimos | 1-alfa, 2-beta, 3-alfa, 4-beta, 5-alfa, 6-beta-hexaclorociclo-hexano; beta 1,2,3,4,5,6-hexaclaro-ciclohexano; beta-BHC; beta HCH; beta-hexaclaro-benceno; beta-lindano; ciclohexano, 1,2,3,4,5,6-hexaclaro-, beta-; ciclo-hexano, 1,2,3,4,5,6-hexaclaro-,beta-isomero. |
| Fórmula | $C_6H_6Cl_6$ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 290.83 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 314–315 °C |
| Punto de ebullición | 60 °C a 0.5 mm Hg |
| Densidad (g/cm ³) | 1.89 a 19 °C |
| Solubilidad | |
| Agua | 5 ppm |
| Solventes orgánicos | 1.1 g/100 g en etanol; 1.8 g/100 g en éter; 1.9 g/100 g en benceno |
| Coefficientes de partición | |
| Log K_{ow} | 3.78 |
| Log K_{oc} | 3.57 |
| Presión de vapor | 3.6×10^{-7} mm Hg a 20 °C 0.000014 mm Hg a 50°C* |
| Constante de la ley de Henry | 4.5×10^{-7} |

K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc} = Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo.

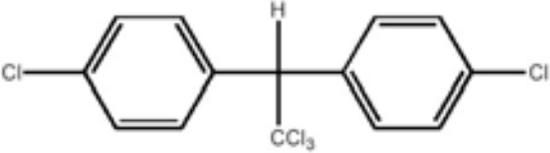
ASTDR (2005);* EPA.1980

| | |
|--|---|
| γ -hexaclorociclohexano | |
| Sinónimos | Lindano; 1-alfa, 2-alfa, 3-beta, 4-alfa, 5-alfa, 6-beta-hexacloro-ciclohexano; BHC; ciclohexano 1,2,3,4,5,6-hexacloro-gamma-isomero; gamma-BHC; gamma-hexaclorociclohexano; gamma- 1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano; gamma-HCH; gamma-lindano; HCH; hexaclorociclohexano, isomero gamma; 1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano, isomero gamma |
| Nombres registrados | Etan 3G (Diachem S.P.A.); Forlin; Gamafex; isotox (Chevron Chemical Co.); Germate Plus (Gustafson Inc.); Gamma-Mean 400 and Gamma Mean L. (Oregon-California Chemicals, Inc.); Hammer (Exsin Industries); Lindagam; Novigam; Silvanol; Kwell (shampoo farmaceutico) |
| Fórmula | $C_6H_6Cl_6$ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 290.83 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 112.5 °C |
| Punto de ebullición | 323.4 °C a 760 mm Hg |
| Densidad (g/cm ³) | 1.89 a 19 °C |
| Solubilidad Agua Solventes orgánicos | 17 ppm; 10 mg/l * 6.4 g/100 g en etanol; 20.8 g/100 g en éter; 28.9 g/100 g en benceno |
| Coefficientes de partición Log K _{ow} Log K _{oc} | 3.72 3.57 |
| Presión de vapor | 4.2x10 ⁻⁵ mmHg a 20°C 0.0008 mm Hg a 50°C* |
| Constante de la ley de Henry | 3.5x10 ⁻⁶ |

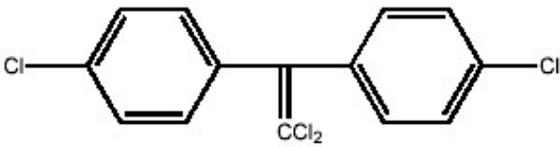
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc} = Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2005);* EPA.1980

| | |
|--------------------------------|---|
| δ -hexaclorociclohexano | |
| Sinónimos | 1-alfa,2-alfa,3-alfa, 4-beta, 5-alfa, 6-beta-hexaclorociclohexano; ciclohexano, 1,2,3,4,5,6-hexaclaro-, delta-isomero; ciclohexano, delta 1,2,3,4,5,6-hexaclaro-; delta-bencenohexa-cloruro; delta-BHC; delta-HCH; delta-1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano; delta-lindano |
| Fórmula | $C_6H_6Cl_6$ |
| Estructura | |
| Peso molecular | 290.83 |
| Estado físico | Placas finas |
| Punto de fusión | 141–142 °C |
| Solubilidad | |
| Agua | 10 ppm |
| Solventes orgánicos | 24.4 g/100 g en etanol; 35.4 g/100 g en éter; 41.4 g/100 g en benceno |
| Coefficientes de partición | |
| Log K_{ow} | 4.14 |
| Log K_{oc} | 3.8 |
| Presión de vapor | 3.5×10^{-5} mm Hg a 25 °C |
| Constante de la ley de Henry | 2.1×10^{-7} |

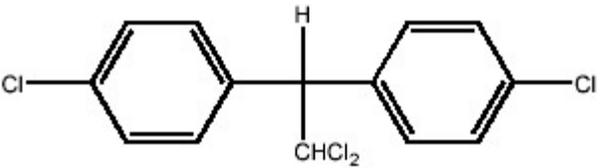
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc} = Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2005)* EPA.1980

| | |
|-------------------------------|---|
| p, p'-DDT | |
| Sinónimos | 4,4'-DDT; 1,1,1-tricloro-2,2-(p-clorofenil)etano; diclorodifenil tricloroetano; DDT; 1,1'-(2,2,2-tricloroetilideno)bis(4-clorobenceno); α - α -bis(p-clorofenil)- β , β , β -tricloroetano. |
| Nombres registrados | Genitox, Anofex, Detoxan, Neocid, Gesarol, Pentachlorin, Dicophane, Chlorophenothane |
| Fórmula | C ₁₄ H ₉ Cl ₅ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 354.49 |
| Estado físico | Sólido |
| Punto de fusión | 108.5-109 °C* |
| Punto de ebullición | 185°C* |
| Densidad (g/cm ³) | 0.98-0.99 |
| Solubilidad | |
| Agua | 0.025 mg/L a 25°C ~2 ppb* |
| Solventes orgánicos | Poco soluble en etanol, muy soluble en éter etílico y acetona. |
| Coefficientes de partición | |
| Log K _{ow} | 6.91 (calculado), 3.98 (medido) |
| Log K _{oc} | 5.18 |
| Presión de vapor | 1.60x10 ⁻⁷ torr a 20 °C, 1.9 x 10 ⁻⁷ torr a 25°C* 7.3 x 10 ⁻⁷ torr a 30°C* |
| Constante de la ley de Henry | 8.3x10 ⁻⁶ atm·m ³ /mol |

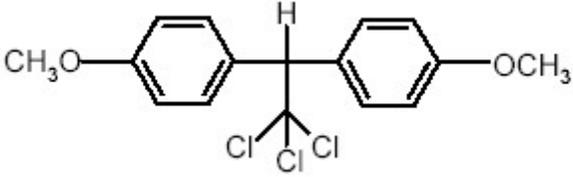
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc}= Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2002b).

| | |
|-------------------------------|---|
| p, p'-DDE | |
| Sinónimos | 4,4'-DDE; diclorodifenildicloroetano; 1,1-dicloro-2,2-bis(p-clorofenil) etileno; 1,1'-(2,2-dicloroetilideno)bis(4-clorobenceno); DDE |
| Fórmula | C ₁₄ H ₈ Cl ₄ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 318.03 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 89 °C |
| Punto de ebullición | 336 °C |
| Densidad (g/cm ³) | |
| Solubilidad | |
| Agua | 0.12 mg/L a 25 °C |
| Solventes orgánicos | En la mayoría de solventes orgánicos |
| Coefficientes de partición | |
| Log K _{ow} | 6.51 |
| Log K _{oc} | 4.70 |
| Presión de vapor | 6.0x10 ⁻⁶ a 25 °C, torr |
| Constante de la ley de Henry | 2.1x10 ⁻⁵ atm·m ³ /mol |

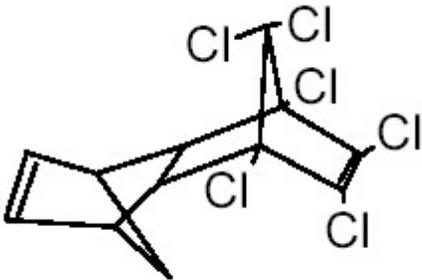
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc} = Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2002b).

| | |
|-------------------------------|--|
| p, p'-DDD | |
| Sinónimos | 4,4'-DDD; DDD; 1,1-dicloro-2,2-bis(<i>p</i> -clorofenil)etano; 1,1-bis(4-clorofenil)-2,2-dicloroetano; TDE; Tetraclorodifeniletano 1,1'-(2,2-dicloroetilideno)-bis/4-clorobenceno |
| Nombres registrados | DDD; Rothane; Dilene, TDE |
| Fórmula | C ₁₄ H ₁₀ Cl ₄ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 320.05 |
| Estado físico | Sólido |
| Punto de fusión | 109–110 °C |
| Punto de ebullición | 350 °C |
| Densidad (g/cm ³) | 1.385 g/cm ³ |
| Solubilidad | |
| Agua | 0.090 mg/L a 25°C |
| Solventes orgánicos | |
| Coefficientes de partición | |
| Log K _{ow} | 6.02 |
| Log K _{oc} | 5.18 |
| Presión de vapor | 1.35x10 ⁻⁶ a 25 °C, torr |
| Constante de la ley de Henry | 4.0 x10 ⁻⁶ atm·m ³ /mol |

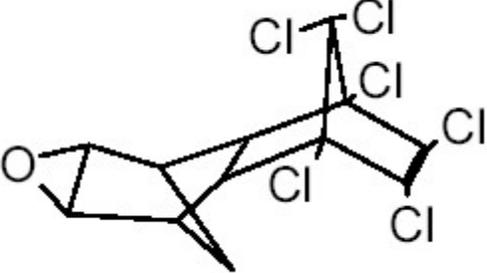
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc}= Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2002b).

| | |
|--|---|
| Metoxicloro | |
| Sinónimos | 2,2-bis(p-metoxifenil)-1,1,1-tricloroetano; 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-metoxifenil) etano; metoxi-DDT; 1,1r-(2,2,2-tricloroetilideno)-bis(4-metoxibenceno) |
| Nombres registrados | Marlate Metox Prentox Methoxide |
| Fórmula | $C_{16}H_{15}Cl_3O_2$ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 345.65 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 89 °C 77 °C (grado técnico) |
| Densidad (g/cm ³) | 1.41 g/cm ³ |
| Solubilidad Agua a 25 °C a 15 °C a 24 °C a 35 °C a 45 °C | 0.045 mg/L 0.02 mg/L 0.04 mg/L 0.095 mg/L 0.185 mg/L |
| Solventes orgánicos | Soluble en solventes clorados aromáticos, solventes cetónicos, etanol, cloruro de metileno, naftaleno, cloroformo, xileno, metanol, benceno. |
| Coefficientes de partición Log K _{ow} Log K _{oc} | 4.68–5.08 4.9 |
| Presión de vapor | 1.4x10 ⁻⁶ mm Hg a 25°C |
| Constante de la ley de Henry | 1.6x10 ⁻⁵ atm·m ³ /mol a 25°C |

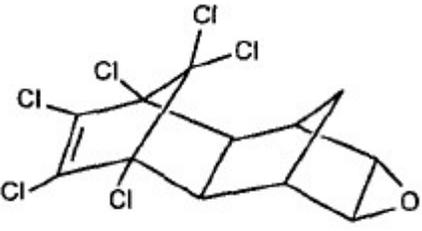
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc} = Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2002a).

| | |
|--|---|
| Aldrín | |
| Sinónimos | 1,2,3,4,10,10-Hexacloro-1,4,4 α ,5,8,8 α -hexahidro-exo-1,4-endo-5,8-exo-dimetano- naftaleno; HHDN |
| Nombres registrados | Aldrec; Aldrex; Drinox; Octalene; Seedrin; Compound 118 |
| Fórmula | C ₁₂ H ₈ Cl ₆ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 364.91 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 104–105.5°C; 49–60 °C (grado técnico) |
| Densidad (g/cm ³) | 1.6 g/L a 20 °C |
| Solubilidad Agua | 0.011 mg/L a 20°C |
| Solventes orgánicos | muy soluble en casi todos los compuestos orgánicos |
| Coefficientes de partición Log K _{ow} Log K _{oc} | 6.50 7.67 |
| Presión de vapor | 7.5x10 ⁻⁵ mmHg a 20°C 1.2x10 ⁻⁴ mmHg a 25°C |
| Constante de la ley de Henry | 4.9x10 ⁻⁵ atm·m ³ /mol a 25°C |

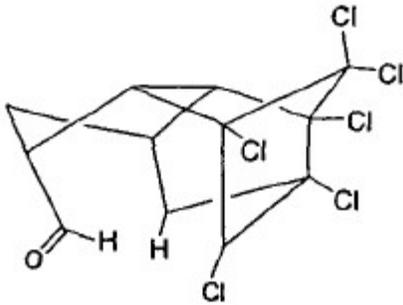
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc}= Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2002c).

| | |
|--|---|
| Dieldrín | |
| Sinónimos | 1,2,3,4,10,10-Hexacloro-6,7-epoxy-1,4,4 α ,5,6,7,8,8 α -octahidro-1,4-endo,exo-1,4: 5,8-dimetanaftaleno; HEOD |
| Nombres registrados | Alvit; Dieldrix; Octalox; Quintox; |
| Fórmula | C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 380.91 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 176–177 °C 95 °C (grado técnico) |
| Densidad (g/cm ³) | 1.75 g/L a 25 °C |
| Solubilidad Agua | 0.110 mg/L |
| Solventes orgánicos | Moderadamente soluble en solventes orgánicos, excepto en alifáticos y alcohol metílico |
| Coefficientes de partición Log K _{ow} Log K _{oc} | 6.2 6.67 |
| Presión de vapor | 0.40 m Pa a 20°C * 1.78x 10 ⁻⁷ mm Hg a 20°C |
| Constante de la ley de Henry | 5.2x10 ⁻⁶ atm·m ³ /mol a 25°C |

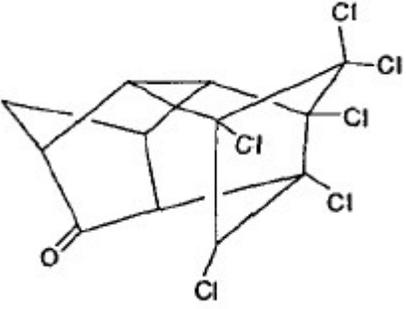
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc}= Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2002c); * EPA. 1980.

| | |
|------------------------------|--|
| Endrín | |
| Sinónimos | 1, 2, 3, 4, 10, 10-hexacloro-6, 7-epoxi-1, 4, 4A, 5, 6, 7, 8, 8A-octahidro-endo, endo-1,4:5,8-dimetanonaftaleno. 1,2,3,4,10,10,hexacloro-1R, 4S, 4aS, 5nS, 6, 7R, 8R, 8aR-octahidro- 6, 7-epoxy-1, 4: 5, 8-dimetanonaftaleno. Hexacloroepoxi-octahidro-endo-endo-dimetanonaftaleno |
| Nombres registrados | Mendrín, hexadrin, endrex, insecticida 269 |
| Fórmula | C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 380.9 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Densidad | 1.70 a 20°C* |
| Punto de fusión | 235°C |
| Solubilidad | |
| Agua | 200 µg/L a 25°C |
| Solventes orgánicos | acetona 17g/100 ml benceno 13.8g/ 100 ml hexano 7.1 g/100 ml xileno 18.3g/100 ml |
| Coeficientes de partición | |
| Log K _{ow} | 5.06* |
| Log K _{oc} | 4.97* |
| Presión de vapor | 0.026 m Pa 25 °C* |
| Constante de la ley de Henry | 5.4x10 ⁻⁷ atm-m ³ /mol |

K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc}= Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2002c); * EPA. 1980.

| | |
|--|--|
| Endrín aldehído | |
| Fórmula | C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 381.9 |
| Estado físico | Sólido |
| Punto de fusión | 145-149°C |
| Solubilidad Agua | 0.25 mg/L |
| Coefficientes de partición Log K _{ow} Log K _{oc} | 3.1 3.9 |
| Presión de vapor | 2x 10 ⁻⁷ mm Hg |
| Constante de la ley de Henry | 2X10 ⁻⁹ atm·m ³ /mol |

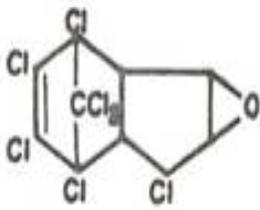
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc}= Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2002c).

| | |
|---|--|
| Endrín cetona | |
| Nombres registrados | Delta-ceto 153 |
| Fórmula | C ₁₂ H ₈ Cl ₆ O |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 380.9 |
| Estado físico | Sólido |
| Coefficientes de partición Log K _{ow} | 4.99 |
| Constante de la ley de Henry | 2.02x10 ⁻⁸ atm· m ³ /mol |

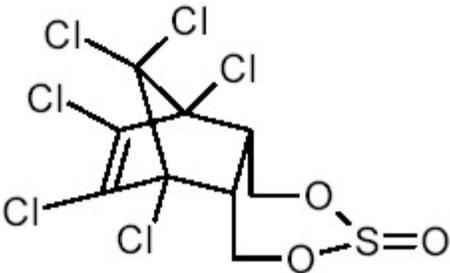
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc}= Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2002c).

| | |
|--|--|
| Heptacloro | |
| Sinónimos | 3-Cloroclordano; 1, 4, 5, 6, 7, 8, 8a-heptacloro-3a, 4, 7, 7a-tetrahidro-4, 7-metanoindeno; 1, 4, 5, 6, 7, 8, 8 -heptacloro-3A, 4, 5, 5a tetrahidro; alfadilicopentadieno, 3, 4, 5, 6, 8, 8a heptacloro |
| Nombres registrados | Basaklor; Gold Crest H-60; Termide; Heptagran; Heptagranox; Heptamak; Heptamul; Soleptax; Velsicol 104 E 3314 |
| Fórmula | $C_{10}H_5Cl_7$ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 373.32 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 95-96 °C (puro); 46-74 °C (grado técnico) |
| Punto de ebullición | 145 °C |
| Solubilidad Agua | 0.05 mg/L a 25°C |
| Solventes orgánicos | soluble en la mayoría de los solventes orgánicos |
| Coefficientes de partición Log K_{ow} Log K_{oc} | 6.10 4.34 |
| Presión de vapor | 3×10^{-4} mm Hg a 25 °C |
| Constante de la ley de Henry | 2.94×10^{-4} atm·m ³ /mol a 25°C |

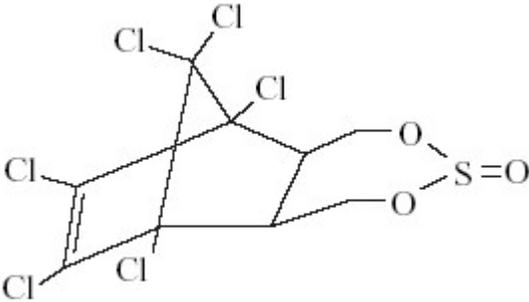
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc} = Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2007).

| | |
|--|---|
| Epóxido de heptacloro | |
| Sinónimos | Epoxiheptacloro; 1, 4, 5, 6, 7, 8, 8a-heptacloro-2,3-epoxi-3a, 4, 7, 7a-tetrahidro-4, 7-metanoindeno; 4,7-metanoindan, 1, 4, 5, 6, 7, 8, 8-heptacloro-2,3-epoxi-3a, 4, 7, 7a-tetrahidro-; |
| Nombres registrados | Velsicol 53-CS-17 |
| Fórmula | $C_{10}H_5Cl_7O$ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 389.40 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 160-161.5 °C |
| Solubilidad Agua | 0.275 mg/L a 25°C |
| Solventes orgánicos | Soluble en la mayoría de solventes orgánicos |
| Coefficientes de partición Log K_{ow} Log K_{oc} | 5.40 3.34-4.37 |
| Presión de vapor | 1.95×10^{-5} mm Hg a 30 °C |
| Constante de la ley de Henry | 3.2×10^{-5} atm·m ³ /mol |

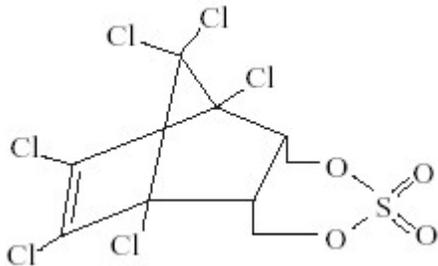
K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc} = Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2007).

| | |
|--|---|
| α -Endosulfán | |
| Sinónimos | α -Endosulfán; Endosulfán A; 6, 9-Metano-2, 4, 3-benzodioxatíepin, 6, 7, 8, 9, 10, 10-hexacloro-1, 5, 5a, 6, 9, 9a-hexahidro-, 3-oxido. (3 α , 5a β , 6a, 9a α , 9 β) |
| Nombres registrados | α -Benzoepin; α -Thiodan; Thionex |
| Fórmula | C ₉ H ₆ Cl ₆ O ₃ S |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 406.93 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 108-110 °C |
| Solubilidad Agua | 0.15 mg/L a 22 °C 0.53 mg/L a 25°C |
| Coefficientes de partición Log K _{ow} Log K _{oc} | 3.83 3.55 |
| Presión de vapor | 1x10 ⁻⁵ mm Hg |
| Constante de la ley de Henry | 1.01x10 ⁻⁴ atm m ³ /mol a 25°C |

K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc}= Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2000).

| | |
|---|---|
| β -Endosulfán | |
| Sinónimos | β -Endosulfán; Endosulfán B; 6, 7, 9, 10, 10-Hexacloro-1, 5, 5a, 6, 9, 9a-hexahidro-6, 9-metano-2, 4, 3-benzodiazatien-3-oxide, (3 α , 5 α , 6 β , 9 β , 9 α) |
| Nombres registrados | α -Benzoepin; α -Thiodan; Thionex |
| Fórmula | C ₉ H ₆ Cl ₆ O ₃ S |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 406.93 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 208–210 °C |
| Solubilidad Agua | 0.28 mg/L a 25°C |
| Solventes orgánicos | Soluble en la mayoría de los solventes orgánicos |
| Coefficientes de partición Log K _{ow} | 3.52 |
| Presión de vapor | 1x10 ⁻⁵ mm Hg a 25°C |
| Constante de la ley de Henry | 1.91x10 ⁻⁵ atm m ³ /mol a 25°C |

K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc}= Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2000).

| | |
|--|---|
| Sulfato de endosulfán | |
| Sinónimos | 6, 7, 8, 9, 10, 10-Hexacloro-1, 5, 5a, 6, 9, 9a-hexahidro-, 6, 9-metano-2,4,3-benzodioxatíepin-3, 3-dióxido |
| Fórmula | $C_9H_6Cl_6O_4S$ |
| Estructura |  |
| Peso molecular | 422.9 |
| Estado físico | Sólido cristalino |
| Punto de fusión | 181 °C |
| Solubilidad Agua | 0.22 a 22°C |
| Coefficientes de partición Log K_{ow} | 3.66 |
| Presión de vapor | 1×10^{-5} mm Hg a 25°C |
| Constante de la ley de Henry | 2.61×10^{-5} atm m^3/mol a 25°C |

K_{ow} = Coeficiente de partición octanol-agua; K_{oc} = Coeficiente de partición del contaminante en la fracción orgánica del suelo. ASTDR (2000).