



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**“ESTUDIO DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS EN
LOS CUERPOS ACUÁTICOS DEL ÁREA NATURAL
PROTEGIDA CIÉNEGAS DEL LERMA, ESTADO DE
MÉXICO”**

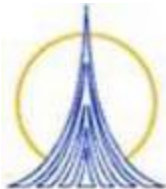
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A

ANA VICTORIA GONZÁLEZ FERNÁNDEZ

**U N A M
F E S
Z A R A G O Z A**



**UNIDAD EN
LA
DIVERSIDAD**

DIRECTORA DE TESIS: M EN C. A. LOURDES CASTILLO GRANADA

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE DE 2006



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.

Dedicatorias

* A **Dios**, por permitirme existir y también llegar a este momento, pues él es testigo fiel de mis ratos llenos de dicha y aquellos momentos de amargura; porque todo lo que de él he recibido y aún lo que no, ha sido con su justa sabiduría. Gracias por estar siempre conmigo Señor.

*Para la **Sra. Victoriana Félix (q.e.p.d)** mi abuelita, cuya ternura, cariño, amor y buenos consejos se hicieron presentes en cada etapa de mi vida. Aunque me hubiera gustado que aún estuviera presente para compartir este momento, esta es mi manera de brindarle un homenaje por toda la experiencia que sobre nosotros derramó. Seguramente donde quiera que se encuentre, seguirá velando por mí y por toda la familia...su familia.

*A mi mamá, la **Sra. Rosa De Jesús Fernández**, pues sin su apoyo en todo este tiempo y en todos los sentidos, no habría concluido mi carrera. Espero que con esto pueda retribuir los enormes esfuerzos de todo lo que has hecho por mí y para mí. Gracias.

*A mi papá el **Sr. Armando González**. Cuando veas este trabajo sabrás que querer es poder. Dios te bendiga a donde quiera que vayas papá.

*A mis hermanos, **Carlos Erick y Christopher Kevin**, dos personas a las que quiero profundamente y de quienes he aprendido mucho aún sin ellos saberlo. Deseo que algún día vea condensados sus sueños en forma de logros y éxitos. Con todo mi amor este trabajo también es para y por ustedes.

*Para mis familiares: Mis tíos y primos, en especial a mi tía **Sra. Ma. Del Carmen Fernández** por ser mi confidente, por escucharme, por animarme a seguir en la carrera más importante...la carrera de la vida y por apoyarme en todo momento. A mi tío **Enrique Maturano**, porque siempre llevaré en mi mente y corazón su eterna juventud, la que aun con el paso de los años no es endeble y mantiene en su interior. A **Elizabeth Sansón**, mi prima, simplemente por el hecho de serlo y además por su nobleza, sencillez y por ser como es. Te quiero mucho "Didí".

* A la **Sra. Luz Cruz**, por escucharme, apoyarme moral y económicamente y también por ser como una mamá para mí. Señora, no encuentro más palabras para expresarle mi agradecimiento, pero quiero que sepa que ocupa un lugar en mi corazón y estoy muy agradecida con usted y su familia por ser tan nobles conmigo. Gracias.

* A mi ahijada **Itzel Esmeralda** por toda la ilusión y alegría que me provocó al llegar a este mundo pero sobre todo por el privilegio de ser su madrina.

Agradecimientos

*A mi directora de tesis, la **M. en C. A. Lourdes Castillo Granada** por todas las facilidades otorgadas a lo largo del tiempo, por su paciencia, comprensión y apoyo tanto para la lectura de las muestras colectadas así como el trabajo escrito que conforma esta tesis. Gracias por todo maestra.

*A la **Biól. Maricela Arteaga Mejía** quien fue titular de este proyecto y responsable de las salidas a campo para la colecta de muestras, por su comprensión, su ayuda y sobre todo por la oportunidad de trabajar a su lado.

*A mis sinodales: **M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas, Biól. Eloísa Adriana Guerra Hernández, Biól. Raúl Arcos Ramos y Biól. Aída Zapata Cruz**, por el tiempo dedicado a la revisión del documento y por sus comentarios para mejorarlo.

*Al **Biól. Rodrigo Cobos** por proporcionarme algunas imágenes contenidas en la presentación de esta tesis. Gracias por tu disposición y tiempo, mismos que contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

*A la **M. en C. Nora Esquivel**, subdirectora de Sistemas de Información Geográfica en el Instituto Nacional de Ecología, por su valioso apoyo y tiempo, mismos que permitieron enriquecer esta tesis.

*A todos mis profesores que con su sabiduría me aportaron el mejor y hasta el más mínimo de sus conocimientos en esta grandiosa institución, nuestra universidad...la **UNAM**.

*A la **Biól. Yonadxandi Manríquez**, por su amistad y por su apoyo para ingresar al Museo de la Luz como becaria y desde luego a la DGDC-UNAM y al Museo de la Luz por la beca otorgada.

*A **Lupita Salcedo** y al grupo de becarios en el Museo de la Luz...absolutamente TODOS.

*A los diseñadores gráficos **Carlos Fernando García, Diana Lorena Ávila y Heriberto Carrera** por la elaboración de algunas ilustraciones contenidas en esta tesis. Les deseo una vida llena de logros y éxitos. Gracias por el tiempo que se tomaron para contribuir a este trabajo.

*A **José Francisco González**, quien ha sido uno de mis mejores amigos, pues sus consejos aún en los que yo no estaba de acuerdo, han sido parte importante en mi vida desde que nos conocimos; Paco gracias por tu amistad a lo largo de este tiempo. También quiero agradecerles a tus papás, la **Sra. Daría y el Sr. Luis** por el grato recuerdo de ese calor de familia; a tus hermanos, en especial **Rosy** quien alguna vez me dijo que: *"...somos como la madera de los árboles, no tenemos la certeza de lo que se construirá con ella..."*

Y de manera muy especial...

* A **Alma Iris Gallegos y Abril Elizabeth**. Me llevo un hermoso recuerdo de ustedes y la certeza de que tengo dos grandes amigas. Gracias por conferirme su fuerza y por sujetarme fuertemente de sus manos en aquel momento, ustedes saben a lo que me refiero. No tengo más palabras, simplemente... gracias.

* A **Hugo Jesús Sierra J.**, por todos los momentos compartidos; por ser más que un amigo, un hermano; por escuchar mis tonterías y acercarme a la realidad con tus palabras y consejos; por los minutos convertidos en horas en el teléfono. Quiero que sepas que nunca te olvidaré y siempre te tendré en un lugar muy especial de mi corazón.

* A mis compañeros de la generación 2004-1: los Biólogos Gisela, Victor, Sinaí, Luis Antonio, Nancy, Susy, etc.

* A mis amigos: **Memo Guerra, Alex, Chio Silva, Julia Idalia Villegas, Fernando Franco y Antonio Eloy** pues pese a que ya no nos frecuentamos tanto, siempre atesoraré el agradable recuerdo de aquellos viejos tiempos en los que bastaban tan solo la unidad, el compañerismo y una buena mochila sobre la espalda para la mejor de las convivencias.

* Al **Ing. Eduardo Martínez**, por ser mi amigo... porque aún en la distancia logramos mantenernos en contacto, por echarme porras y ánimos en sus mensajes para la elaboración de mi tesis y estar pendiente de mi en todo momento.

En general a todos los amigos y a las personas que involuntariamente he omitido...gracias por permitirme conocerlos al convivir con ustedes y porque de cada uno siempre llevaré lo mejor.

Señor...

*Ayúdame a decir la verdad delante de los fuertes
y a no decir mentiras para ganarme el aplauso
de los débiles.*

*Si me das fortuna, no me quites la razón.
Si me das éxito, no me quites la humildad.
Si me das humildad, no me quites la dignidad...*

*Enséñame a querer a la gente como a mí mismo
y a no juzgar a los demás.*

*Si me quitas el éxito, déjame fuerzas para
aprender del fracaso.*

*Si yo ofendiera a la gente,
dame valor para disculparme
y si la gente me ofende dame el
valor para perdonar.*

¡Señor...si yo me olvido de ti, nunca te olvides de mí!

M. Gandhi.

Soy pesimista respecto al género humano porque es demasiado ingenioso para su propio bien. Nuestra aproximación a la naturaleza consiste en derrotarla hasta la sumisión. Nosotros encontraríamos mejor oportunidad de sobrevivir si nos acomodáramos a este planeta y lo considerásemos con aprecio en vez de escéptica y dictatorialmente.

E.B White.



El presente trabajo fue realizado en el laboratorio L-512 y el Laboratorio de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.



INDICE

Contenido	Página
RESUMEN	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Definición de plaguicida	6
2.3 Uso de plaguicidas a lo largo de la historia	6
2.4 Tipos de plaguicidas y sus características	9
2.5 Contaminación por plaguicidas	11
2.6 Propiedades físicas y químicas de los plaguicidas	12
2.7 Contaminación por plaguicidas y problemas aunados a su uso	13
2.8 Dimensión internacional de la gestión de sustancias químicas en México	19
2.9 La situación en nuestro país	22
2.10 Plaguicidas organoclorados prohibidos y restringidos en México	23
3. PROBLEMÁTICA	25
3.1 Modificación del entorno	25
3.2 Uso de recursos	25
4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	27
4.1 Localización geográfica	27
4.2 Extensión	27
4.3 Clima	29
4.4 Orografía	29
4.5 Topografía	31
4.6 Hidrología	32
4.7 Geología	35

4.8 Edafología	35
4.9 Uso del Suelo	35
4.10 Vegetación	36
4.11 Fauna	37
5. HIPÓTESIS	38
6. OBJETIVOS	39
6.1 Objetivo General	39
6.2 Objetivo particular	39
7. MÉTODO	40
7.1 Fase de campo	41
7.2 Fase de laboratorio	42
7.3 Fase de gabinete	45
8. RESULTADOS	46
8.1 Estaciones de muestreo	46
8.2 Plaguicidas organoclorados	48
8.3 Cromatogramas de plaguicidas organoclorados	51
8.4 Gráficas de resultados	62
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
10.- RECOMENDACIONES	83
11. CONCLUSIONES	86
12. BIBLIOGRAFÍA	88
13. ANEXOS	97
13.1 Glosario	97
13.2 Características de algunos plaguicidas organoclorados	101
13.3 Cromatografía de gases	109
13.4 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/81	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1.- Clasificación toxicológica de los plaguicidas según la OMS	11
2.- Propiedades físicas y químicas de los plaguicidas	12
3.- Plaguicidas organoclorados prohibidos y restringidos en México	24
4.- Normas y criterios utilizados para el estudio de plaguicidas organoclorados	40
5.- Ubicación de los puntos de muestreo del humedal norte: Chignahuapan	46
6.- Ubicación de los puntos de muestreo del humedal centro: Chimaloapan	46
7.- Ubicación de los puntos de muestreo del humedal sur: Chiconahuapan	46
8.- Concentración de plaguicidas organoclorados en mg/L encontrados en el humedal norte: Chignahuapan	48
9.- Concentración de plaguicidas organoclorados en mg/L encontrados en el humedal centro: Chimaloapan	49
10.- Concentración de plaguicidas organoclorados en mg/L encontrados en el humedal sur: Chiconahuapan	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.- Distribución de plaguicidas organoclorados en el ambiente	17
2.- Distribución de los plaguicidas en la cadena alimenticia	18
3.- Zona de estudio del Área Natural Protegida Ciénegas del Lerma, Estado de México	28
4.- Cromatograma obtenido a partir de la preparación de referencia	44
5.- Representación espacial de las estaciones de muestreo	47
6.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación dos del humedal norte: Chignahuapan	51
7.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación cuatro del humedal norte: Chignahuapan	52
8.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación cinco del humedal norte: Chignahuapan	53
9.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación seis del humedal centro: Chimaloapan	54
10.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación nueve del humedal centro: Chimaloapan	55
11.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación 10 del humedal centro: Chimaloapan	56
12.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación 13 del humedal centro: Chimaloapan	57
13.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación 15 del humedal centro: Chimaloapan	58
14.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación uno del humedal sur: Chiconahuapan	59
15.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación seis del humedal sur: Chiconahuapan	60
16.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación siete del humedal sur: Chiconahuapan	61
17.- Abundancia de plaguicidas organoclorados en el humedal norte: Chignahuapan	75

18.- Abundancia de plaguicidas organoclorados en el humedal centro: Chimaloapan	76
19.- Abundancia de plaguicidas organoclorados en el humedal sur: Chiconahuapan	77
20.- Predominio de plaguicidas organoclorados en agua para las Ciénegas del Lerma	78
21.- Estructura molecular del DDT	111
22.- Estructura molecular del heptacloro	112
23.- Estructura molecular del endrín	113
24.- Estructura molecular del endosulfán	114
25.- Estructura molecular del aldrín	115
26.- Estructura molecular del dieldrín	116
27.- Estructura molecular del metoxicloro	117
28.- Estructura molecular del lindano	118

RESUMEN

Las Ciénegas del Lerma se encuentran distribuidas en localidades del Estado de México por las cuales tiene su recorrido el río Lerma, mismo que se encuentra rodeado por zonas agrícolas, semiurbanas y urbano-industriales, que desechan todo tipo de sustancias orgánicas altamente contaminantes como los plaguicidas. En las aguas que conforman los humedales, la magnitud de estas descargas y la ausencia de un plan de manejo para la zona, propician el deterioro continuo del lugar.

Esto implica que la calidad del agua, se vea afectada y que además se presente bioacumulación de dichos contaminantes en la fauna desde el plancton hasta los organismos encontrados al final de la cadena trófica, incluyendo al ser humano; debido a las características tóxicas propias de los plaguicidas organoclorados, se presenta un grave problema de biomagnificación.

Según EPA (Environmental Protection Agency) que es un organismo internacional de origen norteamericano regulador en materia de impacto ambiental, prohíbe el uso y abuso de prácticamente todos aquellos plaguicidas organoclorados debido a la persistencia y efectos negativos sobre el ambiente, la fauna silvestre y el ser humano. En nuestro país, la CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas) es el organismo encargado de la regulación de los plaguicidas. En 1981 fue publicada en nuestro país la NOM-AA-71-1981, mientras que en 1989 en E.U se publicó el método 508-EPA; ambos documentos establecen los procedimientos para la determinación de plaguicidas organoclorados mediante el uso de cromatografía de gases con detector de captura de electrones y bajo los cuales el presente trabajo se guía para la extracción, aislamiento, purificación e identificación de plaguicidas organoclorados en agua.

En el trabajo realizado se encontraron 10 de 11 plaguicidas de la preparación de referencia en al menos una estación para cada humedal, distribuidos de la siguiente manera: para el humedal norte o Chignahuapan solo se encontraron Lindano y Heptacloro; para el humedal centro o Chimaloapan Lindano, Heptacloro, Aldrín, Heptacloro epóxido, Endosulfán I y II, Dieldrín, pp-DDT, Dibutilencloretrato y Metoxicloro; finalmente para el humedal sur o Chiconahuapan, Lindano, Heptacloro, Aldrín, Heptacloro epóxido, Endosulfán I, Dieldrín, pp-DDT, Dibutilencloretrato y Metoxicloro. Los plaguicidas encontrados en las ciénegas, rebasan los límites máximos propuestos por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) en el acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-CE-001/89 para algunas de las actividades a las cuáles se destinará el agua.

Tanto el Heptacloro como el Lindano fueron los plaguicidas más frecuentes en los sitios muestreados de las ciénegas y según lo referido por la CICOPRAFEST, el Lindano es un plaguicida cuyo uso en nuestro país está prohibido. Partiendo de este resultado, el trabajo también propone algunas vías alternas que disminuyan el uso de plaguicidas organoclorados sustituyéndolos por bioinsecticidas entre otros métodos comprendidos en el manejo integral de plagas.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo fue realizado dentro del Área Natural Protegida denominada Ciénegas del Lerma durante el periodo anterior a la época de lluvias comprendida entre los meses de marzo y abril, y durante la época de lluvias comprendida de mayo a septiembre de 2004 con un total de 37 muestras de agua colectadas para el análisis de plaguicidas organoclorados en cuerpos acuáticos y canales de esta zona.

Las Ciénegas del Lerma, son los humedales remanentes más extensos del centro de México. Cubren más de 3 mil hectáreas (de 27 mil que había en la zona a fines del siglo XIX); presentan diferentes hábitats incluyendo zonas de aguas profundas (de hasta 5 m). Con una alta diversidad de flora y fauna acuáticas, alberga decenas de especies endémicas y migratorias y en riesgo de extinción como por ejemplo garzas y patos silvestres que vienen desde Canadá y Estados Unidos para anidar en esta zona (www.conanp.gob.mx).

Según la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), un Área Natural Protegida (ANP) es toda aquella zona comprendida en el territorio nacional, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas, restauradas y protegidas por su importancia en cuanto a biodiversidad albergada en ellas y de la investigación que en las mismas se pueda realizar.

La LGEEPA en su artículo 49 puntualiza que en las ANP no podrá autorizarse la fundación de nuevos centros de población ni en las zonas núcleo de las áreas naturales protegidas ya que se prohíbe: verter o descargar contaminantes en el suelo, subsuelo y cualquier clase de cauce, vaso o acuífero, así como desarrollar cualquier actividad contaminante; interrumpir, rellenar, desecar o desviar los flujos

hidráulicos; realizar actividades cinegéticas o de explotación y aprovechamiento de especies de flora y fauna silvestres, y ejecutar acciones que contravengan lo dispuesto por dicha Ley, la declaratoria respectiva y las demás disposiciones que de ellas se deriven (Poder Ejecutivo, 2003).

En nuestro país, existen diversas ANP's que van desde parques nacionales hasta áreas con carácter de protección de flora y fauna, destacándose dentro de ellas las zonas denominadas como humedales.

Un humedal es toda aquella zona en la que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con él. Se localizan en los lugares donde la capa freática se halla en o cerca de la superficie de la tierra o donde la tierra está cubierta de agua poco profunda (Ramsar, 2001).

Los humedales figuran entre los ecosistemas más productivos de la tierra y son fuentes de diversidad biológica, pues aportan el agua de la cual dependen especies vegetales y animales para su supervivencia. Sustentan aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces y especies invertebradas, por lo que los humedales conforman un importante banco de almacenamiento de material genético. Las interacciones de los componentes físicos, biológicos y químicos de un humedal, como los suelos, el agua, las plantas y los animales, hacen posible que el humedal desempeñe muchas funciones vitales como por ejemplo: almacenamiento de agua; protección contra tormentas y mitigación de inundaciones; estabilización del litoral y control de la erosión; recarga de acuíferos (aguas subterráneas); purificación de aguas mediante retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes; y estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente la precipitación y la temperatura. Pese a los valores y funciones que los humedales representan, figuran entre los ecosistemas mas amenazados

de la tierra, a causa de su continua desecación, conversión y contaminación, así como a la explotación excesiva de sus recursos. (Ramsar, 2001).

El dos de febrero de 1971 se citó en la ciudad iraní de Ramsar, una convención de humedales que es un tratado intergubernamental cuya labor está dirigida a la conservación y el uso racional de los humedales, reconociendo que estos son ecosistemas extremadamente importantes para la preservación de la biodiversidad en general y el bienestar de las comunidades humanas. No fue sino hasta 1975, que esta convención entró en vigor y hasta el año 2000 ya contaba con 118 partes contratantes entre las cuales participa nuestro país (Ramsar, 2001).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Antes de que las Ciénegas del Lerma comenzaran a urbanizarse más o menos a principios de los 40's, existía una gran laguna contenida en tres vasos y cuya longitud alcanzaba aproximadamente 25 Km, posteriormente y por efecto de la desecación se separó en tres cuerpos de agua diferentes conocidos bajo los nombres de ciénegas de Chiconahuapan con una extensión de 10 Km², de Chimaliapan cuya extensión medía 25 Km² y de Chignahuapan que medía alrededor de 50 Km². Estos humedales se hallan ubicados en la porción sur de la cuenca del Alto Lerma, al poniente de la Sierra de las Cruces y la Sierra de Monte Alto. Actualmente se extienden por unas 1,425 Ha, desde San Pedro Techuchulco en el extremo sur (Lat N 19 06' 29" y Long W 99 30' 53"), hasta Santa María Atarasquillo, en el norte (Lat N 19 21' 48" y Long W 99 30' 13"), (Antón y Díaz, 2004).

El día 2 de febrero de 2000 las Ciénegas del Lerma fueron declaradas como Área Natural Protegida con el carácter de área de protección de flora y fauna, ubicadas en los municipios de Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Calpulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac en el Estado de México, con una superficie total de 3,023 hectáreas para favorecer su conservación (Poder ejecutivo, 2002).

En noviembre de 1986, México propuso en la convención de humedales Ramsar, 55 sitios como humedales de importancia internacional, entre los que figuran las Ciénegas de Lerma, las cuales obtuvieron su incorporación a la lista de humedales Ramsar el día 2 de febrero de 2004.

Sin embargo, las Ciénegas del Lerma presentan día con día un proceso de deterioro debido a que los pobladores de estas zonas, practican actividades como la tala inmoderada para el aprovechamiento del recurso maderero en la elaboración de muebles, aumento de zonas de cultivo, pastoreo y vivienda, incluyendo la desecación de las ciénegas para tal efecto; la caza de aves mediante la renta a turistas de estaciones o rampas de caza, así como los frecuentes aportes de contaminantes diversos incluyendo los residuos generados por la aplicación de agroquímicos prohibidos y restringidos industriales como los plaguicidas organoclorados. Desde la industrialización de la zona y hasta hoy, las ciénegas se encuentran en condiciones críticas pues las descargas de desechos procedentes de los asentamientos humanos e industriales (Peña 2000), así como el lavado de tierras agrícolas con acarreo de compuestos químicos, entre los que destacan los plaguicidas organoclorados, han tomado parte importante en la degradación ambiental.

Se han realizado diversos trabajos en esta zona y entre ellos se pueden destacar los siguientes:

Mata (1999) realizó un trabajo destinado a conocer la parasitología del anfibio *Ambystoma lermanensis* en la comunidad de San Pedro Tlaltizapan. En su tesis describe la importancia de este organismo en los ecosistemas acuáticos ubicados en las Ciénegas del Lerma y el impacto que la contaminación ha traído sobre él al encontrar helmintos que repercuten en la integridad de dicho organismo silvestre.

Por otra parte, Ramos (1999) estudió la flora y la vegetación acuática vascular de la cuenca alta del Río Lerma y resaltó la función que desempeñan en general este tipo de plantas en los humedales e incluso su uso como fitorremediadores, en aguas contaminadas como en el caso de las Ciénegas del Lerma.

En la Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT (2004), se publicó un número con respecto a La Cuenca Lerma-Chapala en donde también se involucran las Ciénegas del Lerma. Básicamente el trabajo aborda la problemática ambiental del Río Lerma, el impacto del corredor industrial situado en Toluca con respecto al río y las comunidades por las que lleva su cauce así como la continua desecación de este y todos los sistemas acuáticos ubicados en dicha cuenca.

Un trabajo reciente en los humedales fue realizado por Mariaca, *et al.* en 2005; ellos evaluaron el grado de contaminación para realizar pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida en las Ciénegas del Lerma mediante análisis químicos, físicos y biológicos en aguas y sedimento de estos cuerpos acuáticos. Además, con este estudio definieron el humedal más contaminado de los tres que fueron monitoreados e integran esta Área Natural Protegida.

2.2 Definición de plaguicida:

Un plaguicida es una sustancia sintética, o mezcla de ellas, que se destina para controlar cualquier especie no deseada (incluidos los vectores de enfermedades humanas y animales) que cause perjuicio o interfieran con el mejor aprovechamiento de la producción agropecuaria y forestal o que afecte bienes materiales durante el almacenamiento y transporte o perjudique el bienestar del hombre y de los animales (SEMARNAP, 1996).

2.3 Uso de los plaguicidas a lo largo de la historia

Varios grupos de animales, en especial los insectos y los roedores, siempre han sido plagas para los productos agrícolas. Se sabe que en la antigüedad se fumigaba principalmente con azufre y cal, algunos compuestos fosforados para el

control de poblaciones como roedores. También han sido utilizados derivados de plantas como la nicotina, el piretro y la escila roja.

El crecimiento de las poblaciones humanas junto con la industrialización, desembocaron en el incremento del monocultivo y la necesidad de una mayor capacidad de almacenamiento, transporte y protección de los productos agrícolas. La industria química respondió y colocó en el mercado una serie de sustancias tóxicas, no específicas y baratas, que establecieron la base de la relación que existe actualmente entre la protección de las plantas y los agroquímicos.

A principios de 1906 surgió en Estados Unidos la inquietud por los residuos de arsénico que se detectaron en las cosechas de frutas, por lo que en el año de 1925, las autoridades británicas amenazaron con cerrar sus mercados a los productos norteamericanos que tuvieran residuos de arsénico. Sin embargo, las primeras leyes se preocupaban más bien por la protección de las plantas y la pureza del producto que por la seguridad del hombre. De manera similar, la primer legislación mexicana, emitida en los años de 1923 y 1924, trataba sobre la necesidad económica de proteger a los productos para consumo nacional y aquellos destinados a la exportación (Albert, 1986).

La historia del uso y aplicación de los plaguicidas puede enmarcarse en cuatro incisos, considerando la utilidad que hasta nuestros días tienen:

a) Agricultura: Aproximadamente del 80 al 90% de los plaguicidas que se producen se usan en la agricultura, dependiendo del tipo de cultivo, clima y plagas locales. En diferentes países exportadores, el uso de plaguicidas se establece tomando en cuenta principalmente las concentraciones residuales que los países importadores toleran, así como la calidad del producto para asegurar el mercado

exterior. A menudo, los estándares para los productos de exportación no se aplican de igual manera a los productos que se consumen en el país de origen.

b) Silvicultura: Antes del uso del Diclorodifeniltricloroetano (DDT) y otros compuestos orgánicos sintéticos, los plaguicidas pocas veces se utilizaban para combatir las plagas de los bosques. El desarrollo del DDT, la disponibilidad de medios más económicos de aplicación aérea, aunado al valor cada vez mayor de los productos forestales (papel, materiales para construcción, resinas, etc.) dio como resultado un aumento en el uso de los plaguicidas.

El incremento en su aplicación, la acumulación de residuos y los metabolitos derivados de los plaguicidas agrícolas, produjeron el primer y más importante argumento contra el uso de los plaguicidas organoclorados, es decir, la bioacumulación y la alteración de los niveles tróficos en el ecosistema. El daño resultante a las poblaciones animales fue un factor importante para estimular en los países desarrollados la creación de una legislación para el control de los plaguicidas.

c) Usos en el hogar: En este rubro, su uso varía según el nivel económico y el avance social; sin embargo, constituye una de las causas más graves de envenenamiento en especial entre los niños. Uno de los problemas más graves asociados con el incremento en el uso de plaguicidas es el elevado número de compuestos que existen (Albert, 1986).

2.4 Tipos de plaguicidas y sus características

2.4.1 Plaguicidas inorgánicos:

Son aquellos compuestos que no contienen carbono; en este grupo se incluyen los que se derivan del cobre, arsénico, mercurio, plomo y azufre. Es el grupo más antiguo de plaguicidas y muchos de ellos son tóxicos y persistentes (Smith y Helmick, 1993).

2.4.2 Plaguicidas orgánicos:

Su estructura básicamente está conformada por carbono procedente de petróleo en conjunto con otro elemento. A continuación se enuncian los tipos y característica de plaguicidas orgánicos (Baird, 2001).

2.4.2.1 Plaguicidas organofosforados: Varían de sumamente tóxicos a relativamente no tóxicos. No son persistentes, su periodo de vida es menor a un mes antes de degradarse en sustancias no tóxicas. Los ejemplos de plaguicidas organofosforados incluyen el malatión, fenitrotión y diazinón (Andrews, 1995).

2.4.2.2 Carbamatos: Estos plaguicidas tienen propiedades similares a los organofosforados. Tienden a descomponerse con rapidez en el medio ambiente. Su toxicidad varía de sumamente tóxica a relativamente no tóxica. Los ejemplos de algunos de los carbamatos menos tóxicos son el carbaril y el propoxur (Smith y Helmick, 1993).

2.4.2.3 Piretroides sintéticos: Esta es una de las categorías más recientes de plaguicidas y su uso aumenta su popularidad . Se sintetizan artificialmente para parecer una sustancia natural llamada piretro, que se encuentra en las plantas del

género *Chrysanthemum*. Los piretroides sintéticos son tóxicos para muchos insectos, pero suelen tener una baja toxicidad para los mamíferos. Son sumamente tóxicos para los peces y no deben ser utilizados cerca de áreas acuáticas. En general se utilizan dosis mucho más pequeñas que con otros grupos de plaguicidas. Son ejemplos de ellos la deltametrina y la lambdacihalotrina (Cremllyn, 1995).

2.4.2.4 Reguladores del crecimiento de los insectos: Este es un grupo bastante nuevo de insecticidas que ha logrado con rapidez una posición en diversas situaciones de plaga/cultivo. Estos compuestos interrumpen los patrones de crecimiento normal de los insectos. Algunos asemejan una hormona que se encuentra dentro de ellos, esencial para su crecimiento y desarrollo. Otros inhiben la producción de quitina, un componente esencial del exoesqueleto de los insectos y otros artrópodos. La principal ventaja de los reguladores del crecimiento de los insectos es su especificidad para los artrópodos y su baja toxicidad para el ser humano y muchos otros organismos no blanco. Sin embargo, son sumamente tóxicos para los invertebrados terrestres y acuáticos no blanco, y no deben ser utilizados alrededor de los círculos acuáticos. Los ejemplos de los reguladores del crecimiento de los insectos son el diflubenzurón y el teflubenzurón (Primo, 1991).

2.4.2.5 Plaguicidas organoclorados: Se caracterizan por poseer uno o varios átomos de cloro en su estructura química, son compuestos poco solubles en agua y poco volátiles. Su persistencia se debe a su difícil descomposición y fácil integración a los niveles tróficos mediante su absorción por la piel, el tubo digestivo o el aparato respiratorio; también se acumula en el tejido graso y se eliminan mediante el riñón (Smith y Helmick, 1993). En el ser humano, la intoxicación aguda se caracteriza por náuseas, vómito, dolor gástrico y manifestaciones neurológicas que incluyen dolor de cabeza, temblor y mareos. Las concentraciones de estos productos químicos pueden dar como resultado la

muerte de peces, contaminación de la carne de pescado y el deterioro en la calidad del agua (Jiménez,2002). Se incluyen DDT, epóxido aldehído, clordano, heptacloro, aldrín ,dieldrín, etc.

2.5 Clasificación toxicológica de plaguicidas:

La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha recomendado una clasificación sujeta a actualizaciones periódicas, según su peligrosidad, entendiendo esta como su capacidad de producir daño agudo a la salud cuando se producen múltiples exposiciones en un tiempo relativamente corto. Esta clasificación se basa en la dosis letal media (DL₅₀) aguda, por vía oral o dérmica en ratas. Sin embargo; un producto con baja dosis letal media puede causar efectos crónicos por exposición prolongada (OMS, 2005).

CLASE	Oral (mg/Kg)		Dérmica (mg/Kg)	
	<i>Sólido</i> *	<i>Líquido</i> *	<i>Sólido</i> *	<i>Líquido</i> *
Extremadamente tóxicos	5 o menos	20 o menos	10 o menos	40 o menos
Altamente tóxicos	5 a 50	20 a 200	10 a 100	40 a 400
Moderadamente tóxicos	50 a 500	200 a 2000	100 a 1000	400 a 4000
Ligeramente tóxicos	Más de 500	Más de 2000	Más de 1000	Más de 4000

* Estado físico del ingrediente o formulación que se clasifica.

Cuadro 1. Clasificación toxicológica de los plaguicidas según la OMS, 2005.

Los plaguicidas pueden encontrarse en diversos sitios en concentraciones denominadas niveles traza. Los niveles traza son generalmente concentraciones en partes por millón, esto es, un microgramo de plaguicida por gramo ($\mu\text{g/g}$) o menos de muestra (tierra, agua, comida, etc.).

2.6 Propiedades físicas y químicas de los plaguicidas

En el siguiente cuadro se mencionan las características físicas y químicas de los plaguicidas:

Propiedades	Descripción
Solubilidad en agua	Los plaguicidas con solubilidad acuosa mayor a 500 mg/L son muy móviles en los suelos y otros elementos de los ecosistemas. Su mayor concentración se encuentra en los ecosistemas acuáticos. Los que tienen solubilidad mayor a 25 mg/L (organofosforados) no son persistentes en organismos vivos y los que tienen solubilidad menor (organoclorados) tienden a inmovilizarse en suelos y concentrarse en los seres vivos.
Coeфициente de partición lípido/agua	Este valor proporciona de manera indirecta información sobre la solubilidad y distribución de un plaguicida en un organismo vivo. Plaguicidas con un coeficiente mayor a uno (Aldrin y DDT) son liposolubles, se absorbe fácilmente a través de las membranas biológicas acumulándose en el tejido graso.
Presión de vapor	Los plaguicidas con presión de vapor mayor a 10^3 mm de Hg a 25 °C son muy volátiles, tienen gran movilidad y se dispersan hacia la atmósfera; los que tienen presiones de vapor entre 10^4 y 10^6 mm de Hg a 25 °C, son menos móviles y los no volátiles, que son más persistentes en suelos y agua, presentan presiones de vapor a 10^7 (herbicidas del grupo de triazinas).
Disociación e ionización	Las sustancias al solubilizarse pueden o no disociarse. Las que no se disocian son sustancias no iónicas sin carga y las que si lo hacen son iónicas y pueden tener carga positiva (catiónicas) o negativa (aniónicas). Los plaguicidas aniónicos (como fenoxiacéticos) y los no iónicos son móviles en los suelos, en tanto que los catiónicos se adsorben inmovilizándose en ellos (como el paraquat).
Degradabilidad	Esta propiedad (puede manifestarse por acción química de la luz o de microorganismos) informa sobre la posibilidad de que un plaguicida se descomponga y disminuya su actividad (por ejemplo: malatión, paratión y piretrinas).

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de los plaguicidas (SEMARNAP- Serie 1, 1996).

2.7 Contaminación por plaguicidas y problemas aunados a su uso

2.7.1 Contaminación atmosférica:

La aplicación aérea no controlada de plaguicidas puede ocasionar la contaminación del aire en ciudades próximas a zonas agrícolas y causar intoxicaciones agudas en la población expuesta. Una de las formas de aplicación no controlada es la aspersión de emulsiones acuosas, sea con equipos terrestres o con avionetas, en este caso hay una evaporación progresiva de la fase acuosa, en algunos casos, esta evaporación es prácticamente total y quedan en suspensión en la atmósfera solamente las pequeñas partículas de plaguicidas. Estas partículas permanecen flotando por largo tiempo en el aire y pueden ser llevadas por las corrientes aéreas a sitios muy distantes.

2.7.2 Contaminación del agua:

Los estudios realizados por Grezenda en 1964, citado en Ramade 1997 anticipaban que la presencia de DDT en los cursos pluviales se debían principalmente a las pulverizaciones aéreas de este compuesto (Ramade, 1997).

La contaminación del agua por plaguicidas ocurre principalmente por:

a) Desechos de remanentes de formulaciones y agua de lavado de equipos en ríos, arroyos y lagunas. Esto es, algunos envases de plaguicidas son utilizados por las personas para almacenar agua potable y para ello utilizan estos cuerpos acuáticos para “limpiarlos” de cualquier residuo de sustancia, pero hay que recordar que los plaguicidas organoclorados son altamente persistentes y aún después de ser lavado en el envase se encuentran presentes.

b) Desplazamiento de plaguicidas transportados por las lluvias hacia ríos, arroyos y lagunas debido al regreso de los cursos fluviales de aguas de regadío que han pasado por cultivos tratados con plaguicidas.

c) Contaminación de sistemas lóticos y lénticos, pozos y fuentes por la aplicación directa de estas sustancias en el agua para el control de larvas de mosquitos, caracoles o vegetación acuática excesiva.

Aunado a lo anterior, se sabe que los peces bioacumulan los plaguicidas, los almacenan en los depósitos grasos, lugar donde la concentración aumenta con el tiempo a la par en que asciende la cadena alimenticia (Baird, 2001).

Por otra parte, también habitan insectos nocivos al ser humano, como los mosquitos que durante la etapa larvaria permanecen en la superficie acuática, mismos que suelen ser eliminados de los hogares mediante el uso de productos plaguicidas comerciales y que en el aseo doméstico, estos suelen ser portados también en el agua destinada a la limpieza. Si tomamos en cuenta que los asentamientos humanos son varios y que existen este tipo de ectoparásitos, esta actividad no debe ser descartada sobre todo porque la carencia de drenaje obliga a los habitantes a verter esas aguas en los canales que confluyen directamente a las ciénegas contribuyendo a su contaminación.

2.7.3 Contaminación del suelo:

La evaluación del grado de contaminación del suelo por plaguicidas es de particular importancia debido a la transferencia de estos contaminantes a partir del suelo hacia los alimentos. Los insecticidas organoclorados pueden permanecer en el suelo durante periodos de cinco, diez, 20 y hasta 30 años.

En el caso de la ganadería, los residuos de plaguicidas pasan del suelo, al forraje y finalmente, son absorbidos por los animales, concentrándose en las grasas y, por consiguiente, aumenta la concentración de residuos de plaguicidas persistentes en la carne y leche.

La persistencia, la movilidad y la degradación de los plaguicidas dependen del tipo de suelo (pH, contenido de agua, materia orgánica) entre otros (Bruckers, 1998).

Los problemas derivados del uso de plaguicidas son de extrema gravedad, los criterios de riesgo son:

2.7.4 Producción y uso: Los plaguicidas se incluyen entre las sustancias sintéticas de mayor producción en el mundo. A nivel mundial tienen una gran derrama económica derivada de su uso. Por ejemplo, se utilizan en la construcción, como fungicidas en el tratamiento de maderas de importancia comercial, para la protección de semillas, en la producción de flores de ornato, en la protección de hilados y tejidos contra la polilla y otros insectos, en la fumigación de hospitales y otros establecimientos públicos o privados, para la desinfestación de ectoparásitos, entre otros usos.

2.7.5 Persistencia: El desarrollo de métodos para el análisis de residuos de plaguicidas ha permitido demostrar la persistencia de compuestos que originalmente se habían considerado como no persistentes o inestables en el ambiente.

Un problema adicional es que las pruebas de persistencia, biotransformación y otras similares, se realizan con el compuesto activo y no se toman en consideración las impurezas de fabricación, los isómeros ni los productos de degradación.

2.7.6 Dispersión: Por sí sola, la persistencia de una sustancia facilita que esta se transporte por medio de los mecanismos naturales a sitios remotos de aquél en el que se usó originalmente. La dispersión de este tipo de compuestos por sus características liposolubles origina que se presenten de manera concurrente, en cada eslabón del nivel trófico de que se trate.

2.7.8 Transformaciones químicas y bioquímicas: Una vez que las sustancias xenobióticas han entrado al ambiente, su comportamiento sigue sin excepciones las leyes químicas. Por tanto los ingredientes activos así como sus impurezas (isómeros, disolventes, etc.) sufrirán reacciones de oxidación, reducción, eliminación, hidrólisis o conjugación, reacciones fotoquímicas diversas, polimerizaciones, sustituciones, etc. Estas reacciones, ya sean ambientales o de biotransformación, pueden conducir a sustancias más tóxicas o más persistentes que el compuesto original y se ha comprobado que este es el caso de muchos productos. En los seres vivos, la interacción de los mecanismos naturales conduce frecuentemente, a productos que son aún más perjudiciales que el original. Puede citarse el ejemplo del heptacloro cuyo metabolito es el heptacloro epóxido y que fue encontrado en las ciénegas.

2.7.9 Efectos Tóxicos: Los estudios experimentales realizados en animales de laboratorio sobre efectos conductuales, neurotoxicidad, carcinogenicidad, teratogenicidad, mutagenicidad, alteraciones en hígado, hormonas y del sistema inmunológico, efectos transplacentarios y otros igualmente graves, no dejan lugar a dudas sobre el riesgo tan elevado que a corto, mediano y largo plazo, representan los plaguicidas.

2.7.10 Población expuesta: Hay un gran número de personas expuestas directamente por estar relacionados con la producción, transporte, importación, almacenamiento o uso de estas sustancias, y debe existir un número seguramente

mayor de personas expuestas indirectamente a través de los residuos de plaguicidas en alimentos, en el aire, los que contaminan mantos freáticos, los que quedan en los cultivos tratados como en el caso de las flores, los que quedan en telas, etc. En suma, todos los seres vivos estamos expuestos a ellos en mayor o menor grado.

Lo anterior, se describe gráficamente en las figuras uno y dos que a continuación se muestran:

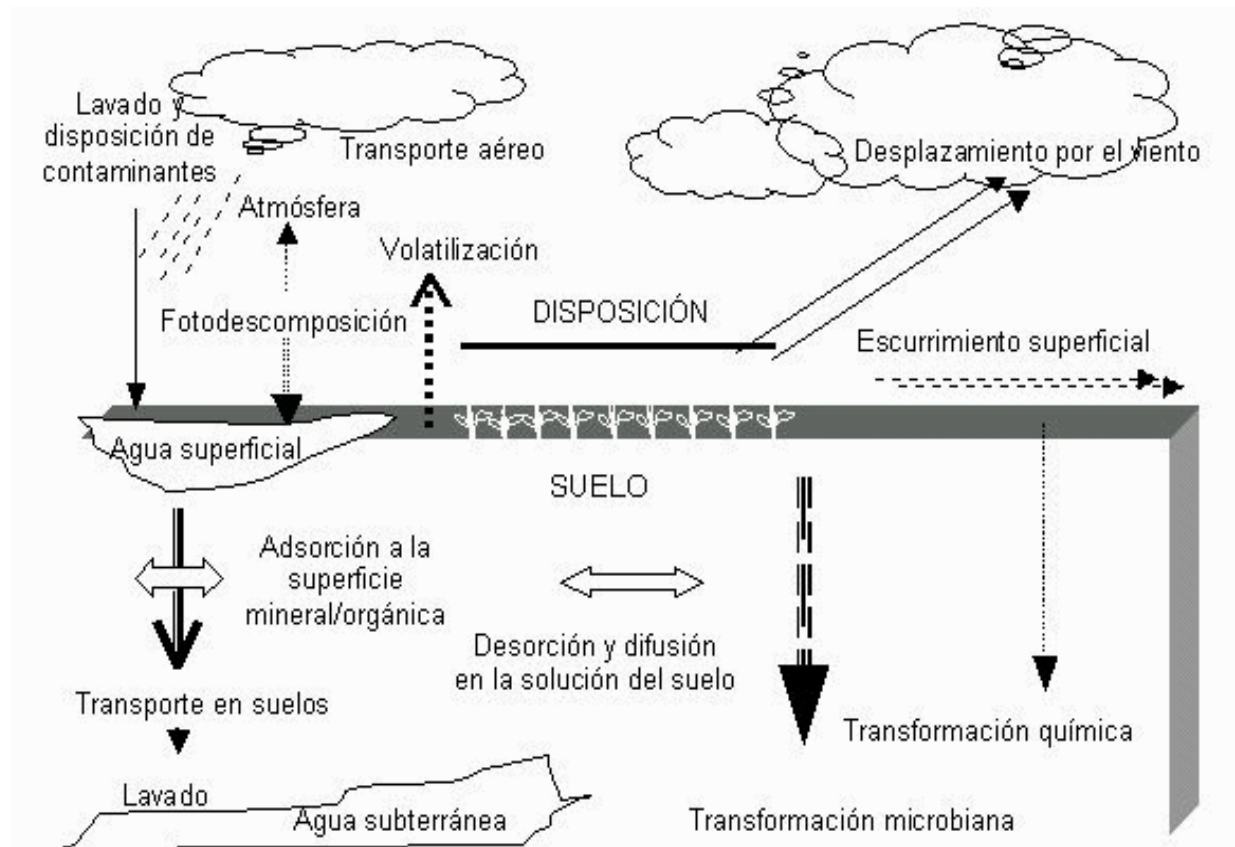


Figura 1.- Distribución de plaguicidas organoclorados en el ambiente .

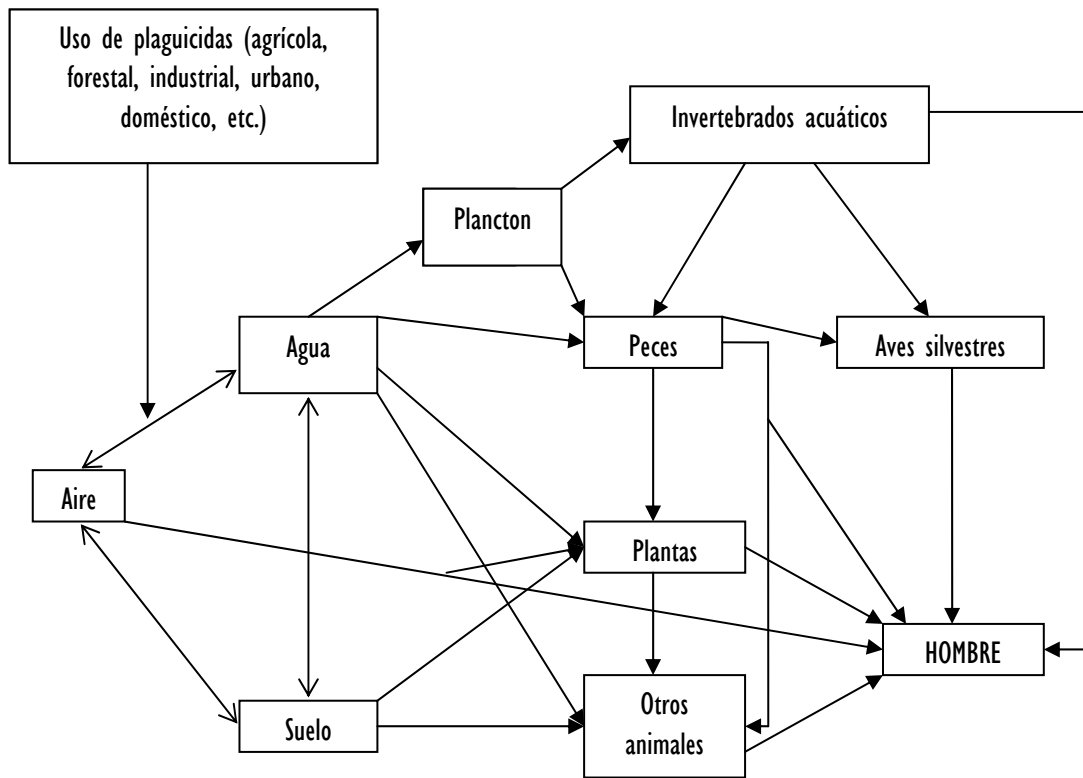


Figura 2.- Distribución de los plaguicidas organoclorados en la cadena alimenticia.

2.8 Dimensión internacional de la gestión de sustancias químicas en México

Uno de los motivos principales que llevó a someter a análisis y discusión la gestión de las sustancias químicas en México, desde la perspectiva de la industria, es el desafío particular que enfrenta el país en la materia, como resultado de su aceptación a instrumentar las disposiciones contenidas al respecto en la Agenda 21, de su adhesión a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), y de la suscripción del Tratado de Libre Comercio (TLC) con América del Norte y del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, aspectos todos ellos que inciden sobre el comercio de los productos químicos y afectan a la industria que los produce.

Se resumen a continuación los compromisos más importantes adquiridos por México en los contextos señalados.

2.8.1 Agenda 21

México se comprometió a poner en práctica los programas descritos en el capítulo 19 de la Agenda 21, *sobre manejo ambientalmente racional de sustancias químicas*. Al mismo tiempo, aceptó colaborar en la identificación de las prioridades nacionales y regionales en los países de América Latina y el Caribe, a fin de establecer un plan de acción que permita fortalecer la gestión de las sustancias químicas en la región con el apoyo de las organizaciones de las Naciones Unidas correspondientes. Como resultado de esto, México deberá establecer o consolidar programas para desarrollar acciones orientadas a poner en marcha las disposiciones de la Agenda 21 con respecto a los siguientes aspectos:

1. Fortalecer la evaluación de riesgos, dando prioridad a los principales contaminantes de interés mundial y preparar directrices que guíen la

determinación del grado máximo de exposición, en cuanto a protección de la salud humana y el ambiente.

2. Disponer de un sistema armonizado en el ámbito mundial de clasificación y etiquetado de las sustancias químicas, apoyado por hojas de seguridad sobre los distintos productos químicos y símbolos de fácil comprensión.

3. Intensificar el intercambio de información entre las partes interesadas, sobre la utilización en forma segura de los productos químicos y acerca de las emisiones de sustancias tóxicas al ambiente, así como lograr la implantación del procedimiento PIC a través de instrumentos jurídicamente vinculantes.

4. Eliminar los riesgos excesivos o inaceptables de los productos químicos peligrosos, con un enfoque que prevea una diversidad de opciones y adopte medidas de precaución derivadas de un análisis integral de su ciclo de vida.

5. Fortalecer la capacidad y los medios nacionales para la gestión de los productos químicos, incluyendo legislaciones y disposiciones para asegurar su aplicación y cumplimiento.

6. Fortalecer la capacidad nacional para detectar y poner freno a cualquier intento ilícito de introducción de productos tóxicos y cooperar con los países en desarrollo que son víctima del tráfico ilícito en el marco de los convenios internacionales.

2.8.2 Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)

La OCDE es una organización internacional intergubernamental que reúne a los países más industrializados de economía de mercado. Los representantes de los países miembros se reúnen para intercambiar información y armonizar políticas

con el objetivo de maximizar su crecimiento económico y coadyuvar a su desarrollo y al de los países no miembros.

El ingreso de México a la OCDE en 1994, implicó el compromiso de poner en práctica las disposiciones contenidas en las Actas del Consejo de Ministros de esa organización consideradas como vinculantes (decisiones), entre las cuales se encuentran varias relacionadas con la gestión de sustancias químicas.

La comparación de estas disposiciones con las contenidas en la Agenda 21, pone de relieve la estrecha relación entre unas y otras, así como el hecho de que la OCDE promueve al mismo tiempo la *seguridad química* y la *armonización de instrumentos* de gestión para eliminar las barreras innecesarias al comercio de los productos químicos.

2.8.3 Tratado de Libre Comercio (TLC) y Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte

Paralelamente a la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, Canadá, Estados Unidos y México, establecieron en 1994 un acuerdo de Cooperación Ambiental del cual emana la Resolución 95-5. A través de ella, los tres países se comprometen a establecer una cooperación regional en lo que respecta al manejo racional, a lo largo de todo su ciclo de vida, de la gama completa de sustancias químicas que constituyen una preocupación común. Se incluyen también medidas como la prevención de la contaminación, la reducción de las fuentes contaminantes y el control de la contaminación. Se decidió dar prioridad al manejo y control de sustancias de preocupación mutua que son persistentes, bioacumulables y tóxicas, empezando por el establecimiento de Planes de Acción Regional sobre los bifenilos policlorados, el DDT, el clordano (tres compuestos orgánicos persistentes) y el mercurio. Para ello, se convino que

la elaboración de dichos planes tomará en consideración diferentes enfoques y calendarios nacionales, de manera que se respeten las distintas circunstancias económicas, políticas y regulatorias de los tres países.

2.9 La situación de nuestro país

En México existen condiciones coyunturales favorables al establecimiento de un Programa Nacional de Gestión Integral de plaguicidas tendiente a prevenir y reducir los riesgos en su manejo, en particular, porque existe una Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST) fundada el 15 de octubre de 1987, a cargo del registro de los plaguicidas, de emitir los permisos para su importación o exportación, establecer normas para su manejo seguro, verificar el cumplimiento de la normatividad, entre otras actividades. Actualmente, participan en ella las secretarías de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, de Salud, de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, de Comercio y Fomento Industrial, de Trabajo y Previsión Social, y de Comunicaciones y Transportes. Actualmente México ha dado un paso significativo en la coordinación de esfuerzos para optimizar las actividades relacionadas con la regulación y el control de riesgos químicos y con ello, simplificar la reglamentación y gestión (Cortinas, 1998).

La principal actividad actual de la CICOPLAFEST, son la regulación y control de plaguicidas y fertilizantes así como la atención al usuario en lo relativo a la emisión de registros y autorizaciones de importación de plaguicidas, fertilizantes y otras sustancias tóxicas. No menos importantes, entre otras actividades realizadas por CICOPLAFEST están:

Integración de inventarios de establecimientos.

Revisión sistemática de tarifas arancelarias.

Promueve la integración y expedición de Normas Oficiales Mexicanas.

Integración de una red de laboratorios oficiales y su capacitación técnica.

Promueve estudios e investigaciones en la materia.

Promueve estudios sobre regulación jurídica

Simplifica el proceso administrativo para trámites.

2.10 Plaguicidas Organoclorados prohibidos y restringidos en México

La CICOPRAFEST también ha catalogado a los plaguicidas bajo un criterio de uso restringido o prohibido según su toxicidad y daños al ambiente, por lo que los plaguicidas organoclorados han recibido la siguiente clasificación:

Plaguicidas	Causas de las restricciones
Aldrín*	Riesgo para la salud e impacto ambiental adverso. Persistencia y bioacumulación
Endosulfano**	Nocivo para la salud humana y organismos benéficos. Persistente y bioacumulable
HCH (isómeros α , β)**	Presencia de isómeros diferentes de isómeros gama, debido a que presenta riesgo para la salud y carece de potencial insecticida. Persistencia. Potencial carcinogénico. Biomagnificación .
γ - BHC (lindano)**	Persistencia. Capacidad de bioacumulación. Riesgos para la salud. La EPA canceló el registro en vista de las pruebas experimentales de carcinogenicidad, teratogenicidad, efectos reproductivos y otros.

Heptacloro*	Persistencia. Bioacumulación. Riesgo para la salud humana. Toxicidad para las aves. Carcinogénico en animales de experimentación.
DDT**	Riesgo para los ecosistemas. Persistencia. Capacidad para biomagnificarse. Desarrollo de persistencia en plagas.
Dieldrín*	Insecticida tóxico para los peces y vida silvestre. Persistente y bioacumulable.
Endrín*	Insecticida y rodenticida, persistente y tóxico para peces y vida silvestre.
Clordano**	Insecticida de contacto e ingestión, altamente persistente. Teratogénico y carcinogénico en animales. Potencialmente carcinogénico en humanos.
Mirex*	Insecticida. Estudios de carcinogenicidad en experimentación.
Toxafeno*	Insecticida persistente. Probable efecto carcinogénico en humanos.
Metoxicloro**	Insecticida de contacto moderadamente persistente. Tóxico para peces y abejas, con efectos adversos a la salud. Irritante dérmico.

Cuadro 3. Plaguicidas organoclorados prohibidos (*) y restringidos (**) en México (CICOPLAFEST, 1994).

3. PROBLEMÁTICA

3.1 Modificación del entorno:

El incremento en la actividad económica en la zona correspondiente a las ciénegas y su crecimiento demográfico, han alterando las condiciones naturales de los cauces y generado problemas graves de contaminación debido a las descargas de aguas residuales domésticas e industriales de diversos giros algunos incluyendo agroquímicos, residuos del petróleo, azucareros, lecheros, alimenticios, madereros además de otras fuentes de contaminación como las granjas porcícolas, ganaderas y avícolas (Peña, 2000) desperdicios que se originan de actividades agrícolas. Existen también procesos de erosión, desecación y deforestación en la zona de las lagunas de Almoloya del Río o Ciénegas del Lerma (Arriaga, *et al.* 2000).

3.2 Uso de recursos:

Una parte de estas aguas recibe tratamiento limitado, el resto se vierten crudas en los canales y cuerpos de agua superficiales. Debido a este vertido inapropiado las lagunas y humedales sobrevivientes están altamente contaminados y hay riesgo de contaminación de la propia capa acuífera que sirve de fuente para el consumo humano pues esta zona abastece de agua al D.F y riega más de 10 mil ha para agricultura. La principal preocupación es la desecación de las ciénegas pues en época de secas, el Río Lerma solo lleva aguas residuales, lo cual indica la necesidad de tratamiento intensivo de sus aguas. Gran parte de la flora y fauna lacustre autóctona ha desaparecido, y la que resta está seriamente amenazada. Al verse afectados los ecosistemas, se han visto afectadas también las actividades humanas relacionadas con los mismos. La pesca y recolección de peces e invertebrados, la utilización de las plantas típicas de la ciénaga, el pastoreo de

animales, la caza tradicional de aves que ahora se ve afectada por la violación de vedas a la cacería de patos migratorios, el cultivo en chinampas, son todas actividades que han desaparecido o están en vías de hacerlo (Antón y Díaz, 2004).

La zona de las Ciénegas de Lerma, albergan la única población mundial de Mascarita transvolcánica (*Geotlypis speciosa*), una pequeña ave de 13 cm, que tiene como hábitat los humedales del centro del país. Estas ciénegas son importantes también desde el punto de vista geológico ya que es uno de los últimos remanentes del antiguo valle de México (Ramsar, 2004).

Además del mal uso de esta agua y su empleo para fines agrícolas (Ramsar, 2004), uno de los principales contaminantes en estos cuerpos acuáticos son los plaguicidas. La población aledaña a las ciénegas utiliza los recursos procedentes de estas (agua, flora, fauna) generando problemas de bioacumulación causados por la ingesta incluyendo el consumo de carne de ganado que se alimenta del pasto circundante a estos cuerpos acuáticos y bebe de los mismos.

Pero hablando particularmente de los problemas que causan en la fauna como por ejemplo en las aves, es que al bioacumularse en el cuerpo de estos organismos (hembras), reducen el nivel de estrógenos, sustancias hormonales necesarias para el almacenamiento de calcio en la médula ósea, mismo elemento que es utilizado para la formación del cascarón en el huevo del polluelo. Por tanto al existir deficiencias de estrógeno también hay poco almacenamiento de calcio y entonces la membrana calcárea del huevo es frágil (Ramade, 1997), disminuyendo así la tasa de natalidad en las aves.

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 Localización Geográfica

Las Ciénegas de Lerma se encuentran localizadas en las coordenadas 19° 14'N y 099° 30'W (Ramsar, 2004) y se distribuyen a lo largo de siete municipios que pertenecen a la zona geográfica denominada Alto Lerma. Dichos municipios son: Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Capulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac en el Estado de México (Poder Ejecutivo, 2002).

Esta área limita al norte con los municipios de Jilotzingo y Huixquilucan, al sur con Joquicingo y Ocuilán, al Oriente con Jalatlaco, Naucalpan de Juárez y Ocoyoacac, y al poniente con Toluca, Calimaya, Mexicaltzingo, Chapultepec, Atizapan y Rayón. Su altitud sobre el nivel del mar varía desde 2,600 metros hasta los 3,150 m.s.n.m (INAFED, 2000).

4.2 Extensión

Según la declaratoria oficial publicada en el DOF en noviembre de 2002, la región conocida como Ciénegas del Lerma en el Estado de México, posee una superficie total de 3,023-95-74.005 hectáreas (tres mil veintitrés hectáreas, noventa y cinco áreas, setenta y cuatro punto cero cinco centiáreas), integrada por tres polígonos, identificados como: Polígono Uno con una superficie de 596-15-79.95 hectáreas (quinientas noventa y seis hectáreas, quince áreas, setenta y nueve punto noventa y cinco centiáreas), Polígono Dos con una superficie de 2,081-18-65.33 hectáreas (dos mil ochenta y una hectáreas, dieciocho áreas, sesenta y cinco punto treinta y tres centiáreas) y Polígono Tres con una superficie de 346-6128.725 hectáreas.

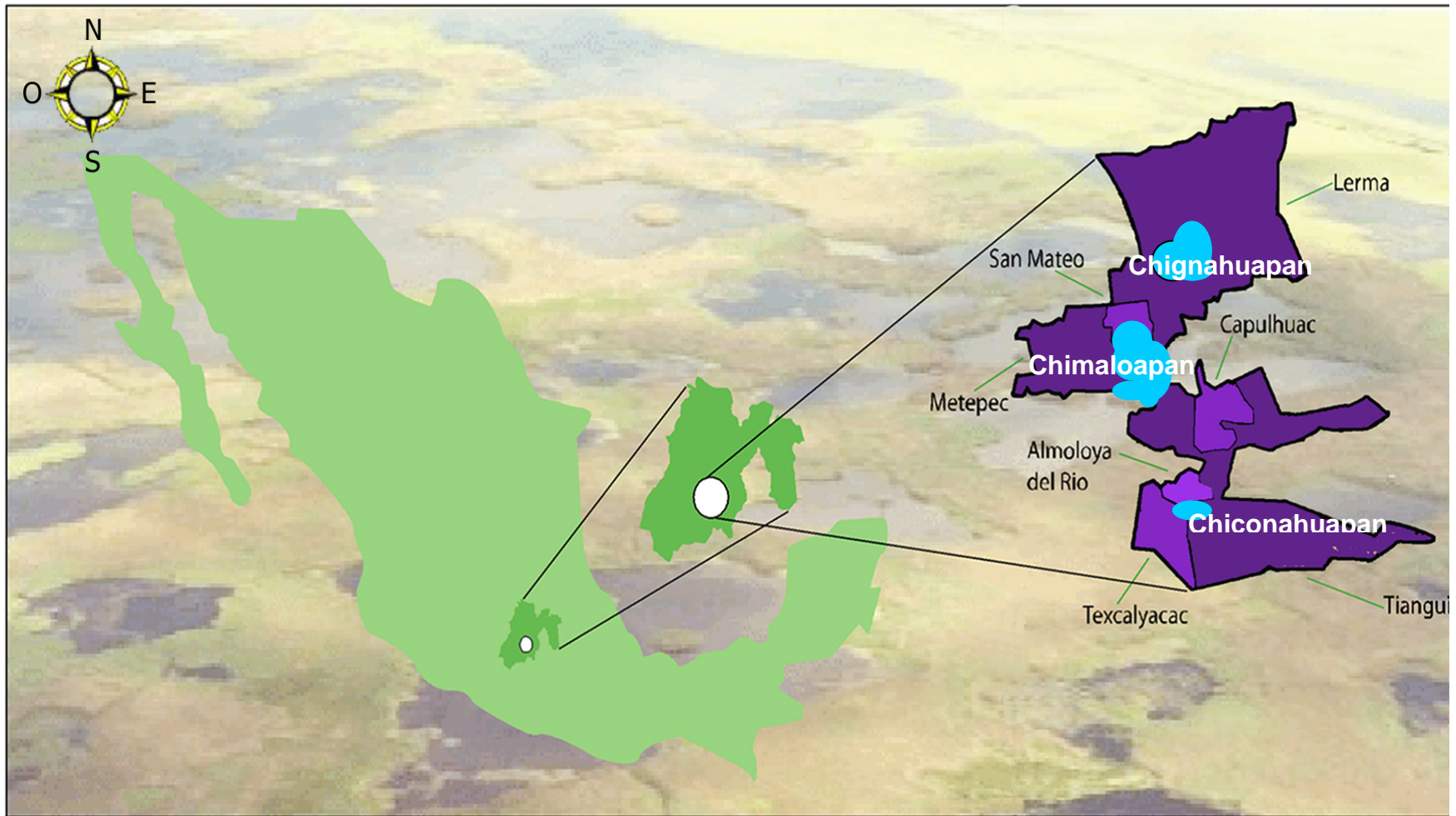


Figura 3. Zona de estudio del Área Natural Protegida Ciénegas del Lerma, Estado de México.

4.3 Clima

La cuenca alta del río Lerma está ubicada aproximadamente a unos 400 Km al sur del trópico de Cáncer, lo que la sitúa en la faja de los grandes desiertos del Hemisferio Norte. No obstante, las condiciones topográficas del sitio, permiten a esta meterse al margen de lo que implica ser un área desértica, la cuenca está caracterizada por sus valles altos con alturas que van de los 2600 a 2800 m.s.n.m, los cuales se encuentran circundados por terrenos altos que en general alcanzan los 3000 m.s.n.m.

La precipitación pluvial promedio de la cuenca es de 700-1,200 mm anuales presentándose valores de hasta 1,200mm anuales en las partes altas de las montañas así como un decremento hacia la porción noroccidental de la misma (INAFED, 2000). Se marca una temporada de secas, de octubre a abril, y otra de lluvias, de mayo a septiembre acentuándose en los meses de julio y agosto.

La temperatura promedio anual en la cuenca es del orden de 12° C y la curva de temperatura mensual en todas las estaciones de la cuenca muestra el mínimo en la última decena de enero cuyo valor promedio es de 5.9°C (Aguilar, 1998).

4.4 Orografía

La ubicación geográfica de Capulhuac se caracteriza por un predominio de zonas semiplanas, asentadas en laderas de la zona montañosa de los municipios de Xalatlaco, Ocoyoacac y Tianguistenco, lo que ha permitido al municipio abastecerse de agua potable principalmente de la cuenca del Alto Lerma.

El territorio que comprende el municipio de Lerma es bastante irregular y ocupa parte del valle de Toluca-Lerma con lomeríos y cerros de la sierra de Las Cruces, presentando algunos valles intermontanos como el de Salazar. El resto del terreno

es de tipo montañoso. El mayor porcentaje de habitantes del municipio se asientan en las faldas de Las Cruces, cadena de montañas que corre de norte a sur. Las formas más características del relieve se componen en: zona accidentada con un 38% de la superficie total. La parte oriental de la municipalidad se encuentra ocupada por montañas graníticas, siendo el terreno seco y es fértil en la zona que ocupa la ciénega o laguna de Lerma, en donde el terreno es húmedo (Peña, 2000).

Los terrenos que componen a Metepec son planos, la única alteración que corresponde a la planicie corresponde al cerro de Metepec, cuya altura aproximada es de 60 metros sobre el nivel de la cabecera. Existe una línea de continuidad y similitud bastante definida entre los elementos geológicos que componen las serranías de las Cruces y el Nevado, y consecuentemente, al breve sistema de cerros de los alrededores de Toluca, entre los cuales está considerado el de Metepec.

Almoloza del río se asienta sobre un cerro de formación volcánica en cuyo lecho alberga una capa gruesa de rocas de formación volcánica.

Con respecto a San Mateo Atenco, geológicamente el municipio se caracteriza por presentar en toda la superficie suelo aluvial, que está formado por el depósito de materiales sueltos (gravas y arenas) provenientes de rocas preexistentes, que han sido transportados por corrientes superficiales de agua desde las partes más altas como la sierra Nahuatlaca-Matlatzinca al sur y Sierra Nevada al suroeste.

El territorio de Texcalyacac también ocupa una parte de la región montañosa de nahuatlaca-matlatzinca que se inicia en el volcán de Olotepec y abarca una zona conocida como "Mal País". Dentro de esta región boscosa también se ubica otro volcán, conocido como "Tres Cruces". En la parte baja se encuentra el parque de Tecula.

La configuración orográfica de Tianguistenco presenta grandes variaciones: así en las partes altas del oriente , correspondientes a la sierra del Ajusco, la altura sobre el nivel del mar sobrepasa los 3600 m. y en la planicie ribereña al río Lerma, ligeramente horizontal, es un poco inferior a 2600m. Dentro del territorio municipal hay varios volcanes: Los Cuates(2,880m.s.n.m), Santiago Tilaza (2,880m.s.n.m), Las Ratas (3,230m.s.n.m), Tecontó (3,060m.s.n.m), San Nicolás Coatepec (2,880m.s.n.m), Boludo (3,220m.s.n.m), Tuxtepec (2,820m.s.n.m), Tres Cruces (3,600m.s.n.m), Olo-tepec (3,080m.s.n.m) y San Secundino (3,670m.s.n.m). Los volcánes denominados Las Ratas y Olo-tepec, son vértices de límites intermunicipales (INAFED, 2000).

4.5 Topografía

El área donde se encuentran las ciénegas está ubicadas en la provincia fisiográfica denominada Meseta Neovolcánica, presenta una variedad de topofomas características de su génesis y de los procesos que delinearon su morfología actual. Los límites físicos del lugar son:

Al este, la sierra de las Cruces, al noreste la sierra de Monte Alto, al norte y noreste, el límite es la sierra San Andrés y al suroeste , el límite es el Nevado de Toluca.

Por último, cierran la cuenca los derrames basálticos que se extienden desde los poblados de Tenango de Arista y Texcalyacac hacia el sur, hasta fuera de la cuenca, siendo el cerro Tenango, con 3070 msnm, la principal altura (Peña, 2000).

4.6 Hidrología

Las ciénegas son un área de condensación de humedad (frente orográfico), las precipitaciones medias mayores se presentan en las partes altas de la cuenca,

razón por la cual la recarga de los acuíferos se da siempre a través de las áreas montañosas.

Con el aprovechamiento de la humedad que se genera dentro de las fases atmosférica, superficial y subterránea, se tiene una importante producción agrícola para el estado. La zona abastece de agua potable para el Valle de México, gracias a la explotación de agua subterránea que realiza el Departamento del Distrito Federal (DDF), que en 1996 fué del orden de 5.1 m³/s (Peña, 2000).

Dentro de los límites de Capulhuac, conformando el sistema hidrográfico se encuentra el río Alcalotli; el cual cruza al municipio por el costado occidental, el río San Juan (que nace en la laguna de San Miguel Almaya), y prácticamente ninguna corriente secundaria. Debido a la falta de fuentes naturales de abastecimiento de agua potable, la cabecera municipal se abastece de agua extraída del subsuelo de la cuenca del Alto Lerma. Las corrientes superficiales de agua presentan un alto grado de contaminación lo que evita que sean aprovechadas para su uso doméstico, comercial e industrial.

En Metepec no existen corrientes superficiales de importancia, pues las que hay son arroyos utilizados como drenes naturales. Sin embargo, existen corrientes subterráneas con importantes veneros, mantos acuíferos y freáticos que se utilizan para la extracción de agua y su posterior potabilización y distribución. La red de infraestructura hidráulica es de 48 pozos, que representan la totalidad de las fuentes de abastecimiento; 28 de estos son operados por un organismo descentralizado, y el resto por comités vecinales no municipalizados.

En la parte noreste de la zona, específicamente en el municipio de Texcalyacac, se encuentra un cuerpo de agua permanente que también pertenece a la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, subcuenca Lerma-Toluca, conocida como laguna de Chiconahuapan que es un importante recurso hidrológico para el municipio, donde antiguamente nacía el río Chiconahuanteco o Matlatzinco, que en

la actualidad se le conoce como río Lerma. De 18 pozos se extrae agua para surtir el Distrito Federal. De este cuerpo de agua se obtienen pocos beneficios económicos, en la actualidad se está rehabilitando para hacer un espacio ecológico de flora y fauna silvestres , ya que anidan varias especies y otras llegan en la temporada otoño-invierno desde Canadá.

El cuerpo de agua de la laguna de Chiconahuapan recibe las aguas residuales de los distintos municipios aledaños, perjudicando tanto a la flora como a la fauna acuática y la belleza de estos recursos naturales. La explotación de los manantiales y la contaminación, han reducido los niveles pluviales del volcán Xinantécatl , que en la temporada de lluvias inundan con azolves importantes para la agricultura de la zona. A través del territorio municipal de Tianguistenco existen una gran cantidad de corrientes permanentes e intermitentes, tributarias principalmente del río Lerma debido a la abrupta configuración topográfica sobre la cual se asienta esta cuenca que prácticamente abarca todo el municipio. Una pequeña porción al sureste se dirige a la cuenca hidrológica del río Balsas; la principal corriente fluvial es el río Lerma que cruza al municipio de sur a norte, mismo que debido a las obras de captación de agua potable llevadas a cabo de 1942 a 1950, comenzó a abastecer de agua potable para la Ciudad de México.

Otra corriente importante es el río Jalatlaco que atraviesa el municipio de oriente a poniente y sirve en un tramo como lindero con el municipio vecino de Capulhuac. En la sierra del Ajusco se localizan los arroyos de Huayatlaco, Los Ailes, Cacalpa y Tlaxipehualapan, así como un pequeño depósito natural de agua conocido como “La Lagunilla”. La gran permeabilidad de las formaciones rocosas , origina que en las partes bajas aparezcan manantiales, entre ellos, el denominado “Catalina de Zárate”, situado frente al atrio del templo de Santiago Tilaza, fuente de abastecimiento para Tilaopa y Tianguistenco. La potencialidad de las reservas acuíferas hasta el momento son aprovechadas por la zona metropolitana de la Ciudad de México, mediante una serie de pozos profundos que en la jurisdicción de Tianguistenco, el Gobierno del Distrito Federal tiene en funcionamiento. Asimismo,

mediante pozos operados por el ayuntamiento municipal, se abastece a la mayor parte de las comunidades y a la zona industrial (INAFED, 2000).

En términos generales, en el municipio de Lerma las zonas que permiten extracciones de agua se han abatido. Una consecuencia de ello es la disminución de los niveles freáticos en las norias de los pobladores del valle, esto se quiso solucionar con la perforación de pozos profundos y el establecimiento de redes de agua potable pero la demanda interna de agua en la cuenca aumentó al establecerse la zona industrial Toluca-Lerma, provocando la disminución de los niveles freáticos que variaban de 1 a 5 m en la ciudad de Toluca, 6 m entre Capulhuac y Almoloya del Río, y entre 0.5 y 2 m al oeste de Ixtlahuaca; otro efecto negativo de esta explotación fue la disminución del aporte de los acuíferos al río Lerma (Peña, 2000).

A lo largo de todo el trayecto del cauce del Lerma, en las partes elevadas, existe toda una red de pequeños arroyos intermitentes, con escurrimientos hasta el río poco definidos. Además se encuentran una serie de bordos, algunos de ellos de relativa importancia y en su mayoría usados para riego y abrevadero.

4.7 Geología

Las ciénegas se ubican en una zona volcánica donde las rocas aflorantes presentan edades que van del terciario Medio (26 millones de años) al Reciente y pueden asociarse a tres grandes grupos que son los siguientes:

I.- Rocas de origen volcánico localizadas en las partes altas constituidas por basaltos y andesitas principalmente.

II.- Materiales piroclásticos que se encuentran bordeando las sierras, incluyen tobas, aglomerados, brechas, cenizas volcánicas y depósitos de pie de monte.

III.- Materiales producto de la desintegración y erosión de los dos grupos anteriores constituidos principalmente por arenas, gravas, arcillas, limos y depósitos lacustres (Aguilar, 1997).

4.8 Edafología

En la zona predominan suelos ricos en materia orgánica y nutrientes, Feozem (ya sea áptico o lítico) así como de tipo Andosol húmico y mólico, Luvisol y Vertisol (15). También los hay hápticos, lúvicos asociados a cambisol leútrico, histosol étrico, litosoles, hálicos, histosoles étricos, regosol, gleysol y pélico (INAFED, 2000).

4.9 Uso del Suelo

Según el Instituto de Investigación e Información Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, los usos del suelo entre los siete municipios que integran esta Área Natural protegida, son los siguientes: el uso de suelo predominante en un 43.20% es agrícola; le sigue el forestal con un 14.94% de la superficie total, el uso urbano incluyendo industrial y área semiurbana que ocupa el 13%, el 9.64% pecuario y 19% los cuerpos de agua (INAFED, 2000).

4.10 Vegetación

Según Peña (2000) coincide con Rzedowski (1978), al observar que se pueden encontrar desde asociaciones especiales de vegetación hasta bosque templado. En la porción centro encontramos asociaciones como: tular, pastos inducidos, sauce llorón (*Salix sp*), eucaliptos, entre otros, en la porción este se encuentra bosque de cedro (*Cupressus lindly*) oyamel (*Abies religiosa*) encino (*Quercus sp*), pino (*Pinus montezumae*, *Pinus teocote* y *Pinus ayacahuite*) pino-encino y con otras asociaciones arbustivas. Las especies arbóreas coníferas ya mencionadas, son productos madereros altamente explotados en la zona y en cuyo proceso de

almacenamiento y preservación, utilizan plaguicidas básicamente para el control de termitas. Se pueden encontrar también yerbas medicinales como: té de monte, manrubio, sonajillo, diente de león, entre otras. Y en cuanto a la vegetación acuática, Ramos en 1999 refiere también la presencia de *Nymphaea gracilis* entre las más abundantes plantas acuáticas .

Cabe también destacar que la zona además presenta vegetación cultivada con fines ornamentales y agrícolas. De estas últimas destacan las siguientes: maíz (*Zea maiz*), haba (*Vicia faba*), avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*), zanahoria (*Daucus carota*), chícharo (*Lathyrus sativus*), calabaza (*Cucurbita pepo*), papa (*Solanum tuberosum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), lechuga (*Lactuca sativa*), cilantro (*Coriandrum sativum*), rábano (*Raphanus sativus*), cebolla (*Allium cepa*), ajo (*Allium sativum*), epazote (*Chenopodium ambrosioides*), nabo (*Brassica napus*), brócoli (*Brassica oleracea*), acelga (*Beta vulgaris*), espinaca (*Spinacea oleracea*), col (*Brassica sp*), entre algunas cactáceas como magueyes y nopaleras.

4.11 Fauna

De entre la fauna acuática tan diversa que se puede encontrar en las ciénegas, se tienen los siguientes:

Peces *Algansea tincella*, *Chirostoma humboldtianum*, *Ocyurus chrysurus*; de aves *Anas acuta*, *A. crecca*, *A. clypeata*, *A. cyanoptera*, *A. discors*, *A. strepera*, *Aythya affinis*, *A. americana*, *A. valisineria*, *Gallinago gallinago*, algunas de las anteriores son especies migratorias provenientes de Canadá y E.U. Endemismos del protozoario *Sagittaria deveersa*; de peces *Algansea barbata*, *Chirostoma riojai*, *Goodea atripinnis*, *Notropis sallei*, *Girardinichthys multiradiatus*, *Poecilia reticulata*, *Poeciliopsis infans*; de anfibios *Ambystoma mexicanum*, *Ambystoma lermaensis*. Las especies de *Algansea spp*, *Ambystoma lermaensis* y *Daphnia pulex*; así como las aves *Geothlypis speciosa*, *Ixobrychus exilis* y *Rallus elegans tenuirostris* se

encuentran amenazadas por contaminación del agua y pérdida de hábitat. Las especies de y son especies indicadoras de contaminación (Mata, 1999) .

5. HIPOTESIS

Ya que las ciénegas y sus afluentes se encuentran aledaños a las zonas industriales y agrícolas, que el 43% del suelo es destinado al uso agrícola en la región y que las Ciénegas del Lerma carecen de un plan de manejo, se considera que el nivel de contaminación por descargas de plaguicidas a dichos cuerpos acuáticos es alto, por lo que probablemente se rebasan los límites permisibles de plaguicidas organoclorados según los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) propuestos por SEDUE.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Estudiar la presencia de los plaguicidas organoclorados presentes en las Ciénegas del Lerma.

6.2 Objetivos particulares

- 1) Determinar la concentración de plaguicidas organoclorados en muestras de agua, extraídas de los tres cuerpos acuáticos según el método 508 propuesto por EPA (EPA, 2005) y la NOM-AA-71-1981.
- 2) Comparar las concentraciones obtenidas en las muestras con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/81 y establecer qué humedal se encuentra más contaminado por plaguicidas organoclorados.

7. METODO

El trabajo realizado se dividió en tres fases: campo, laboratorio y gabinete.

Las siguientes normas, fueron utilizadas en cada fase del método para el desarrollo del mismo tanto en campo como en el análisis en laboratorio:

Cuadro 4.- Normas y criterios utilizados para el estudio de plaguicidas organoclorados.

OPERACIÓN	NORMA
Tratamiento para el material de cristalería.	Enviromental Protection Agency (EPA-600/8-80-038) y US EPA Method (508, 1989).
Toma de la muestra	NOM-AA-14-1980 y NMX-AA-003-1980
Conservación de las muestras	NOM-AA-71-1981
Extracción	US EPA-Method-508,1989 y NOM-AA-71-1981
Purificación	US EPA-Method-508 y NOM-AA-71-1981
Concentración	US EPA-Method-508 y NOM-AA-71-1981
Cromatografía de gases	US EPA Method 508, 1995 y NOM-AA-71-1981
Calidad del agua	Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) SEDUE.

7.1 Fase de campo

- Mediante recorridos georreferenciados, el muestreo de los tres cuerpos de agua fue realizado de marzo a septiembre de 2004, es decir, incluyendo tanto la época de sequía como de lluvias en la región.

- El muestreo fue realizado en cada cuerpo acuático tomando en cuenta las recomendaciones propuestas por la NOM-AA-14-1980 "Cuerpos receptores-muestreo" y la NMX-AA-003-1980 "Aguas residuales-muestreo", de esta última se retomaron aspectos tales como: coleccionar la muestra a una distancia en la cual no hubiera influencia directa de alguna descarga y a la vez que esto permitiera la mezcla uniforme de los contaminantes en el cuerpo receptor.

- A lo largo de los humedales, se coleccionaron en total 37 muestras distribuidas de la siguiente manera: seis para el humedal norte o Chignahuapan (cuadro 8), 23 para el humedal centro o Chimaloapan (cuadro 9) y ocho para el humedal sur o Chicomaloapan (cuadro 10).

-La toma y cantidad de muestras coleccionadas dependió de las rutas de acceso y extensión de cada humedal. Las muestras tomadas fueron simples e instantáneas y no hubo repetición.

-La colecta de cada muestra se llevó a cabo en la superficie del cuerpo acuático por inmersión, permitiendo que el frasco coleccionador se llenara a su capacidad.

-Los frascos para la colecta de las muestras fueron previamente lavados con agua destilada caliente y jabón biodegradable, para eliminar la presencia de grasas y otras sustancias que puedan contaminar o causar interferencias con nuestra

muestra. También fueron debidamente etiquetados con la siguiente información: fecha, número de estación y parámetro a realizar, en este caso plaguicidas.

-Las muestras se almacenaron a 4°C y se trasladaron al laboratorio para el análisis respectivo.

7.2 Fase de laboratorio

-El material de vidrio utilizado en el análisis se lavó con agua caliente y jabón biodegradable y de igual manera enjuagando con agua destilada. Posteriormente se secó el material en horno a 105°C, excepto el material volumétrico.

-Para una extracción más eficiente la muestra de agua se dividió en dos partes, cada una de las cuales se procesó de la siguiente manera: en un embudo de separación Pyrex se realizaron cuatro extracciones con hexano grado plaguicida J. T. Baker, cada una de 25 mL, por cada 500 mL de muestra. Se separó la fase orgánica de la acuosa eliminando esta última y la fase orgánica se colocó en un matraz Erlen Meyer de 250mL sobre sulfato de sodio anhidro.

- La fase orgánica de cada muestra fué purificada en columna cromatográfica empacada de manera individual, con lana de vidrio, florisil activado J.T Baker y sulfato de sodio anhidro J.T. Baker. Así mismo, cada eluato se recibió en un matraz balón de fondo plano y junta esmerilada 24/40 con capacidad para 250 mL.

- Se evaporó el disolvente en un rotavapor marca Heidolph WB2000, (complementado con un dispositivo de trampa para vacío y recirculador de agua) y se resuspendió cada muestra en 1.0 mL de isooctano grado plaguicida J.T. Baker. Con ayuda de una pipeta Pasteur, la solución final fue almacenada en frascos de

vidrio color ambar de 2.0 ml de capacidad con taparroca de bakelita para luego preservarlos en refrigeración a 4°C , hasta su análisis.

- Cada muestra fué analizada por un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones (CG-ECD), modelo Autosystem, marca Perkin-Elmer (EPA, 1995).

- Se utilizó una preparación de referencia de plaguicidas organoclorados de la cual se obtuvieron los tiempos de retención para compararlos con los obtenidos en las muestras.

- Tanto la preparación de referencia como las muestras fueron inyectadas en el cromatógrafo de gas con detector de captura de electrones (CG-ECD), con el empleo de una microjeringa Hamilton de 1.0 µL. Se inyectó una alícuota de 1.0 µL con las siguientes condiciones instrumentales de trabajo:

*Temperatura del inyector = 180 °C

*Temperatura del detector = 300°C

Temperatura del horno = 80°C

*Gas de arrastre; Helio

*Gas auxiliar; Nitrógeno

*Columna Bonded phase fused, Silica Capillary Column, 30m.; 0.53 mm., diámetro interno 0.8µm Film Thickness, Methyl Phenyl Cyano Silicone, Cat. No. 403236, PEN° N931-2846.

-La siguiente figura muestra el cromatograma obtenido a partir de la preparación de referencia:

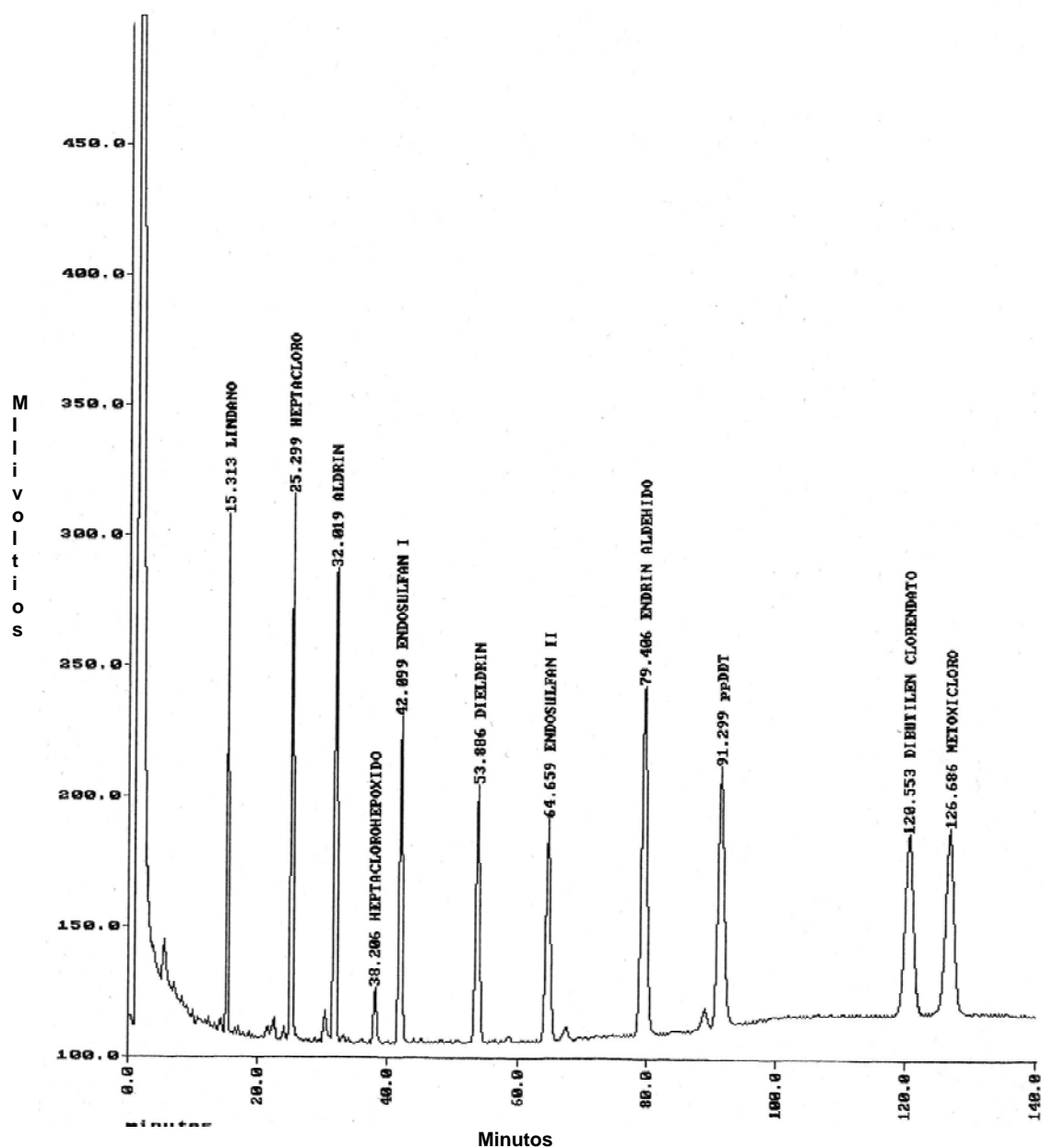


Figura 4. Cromatograma obtenido a partir de la preparación de referencia.

-Se obtuvieron los cromatogramas correspondientes a las muestras para la identificación y cuantificación de cada uno de los componentes. La identificación se hizo comparando los tiempos de retención de cada señal con los

correspondientes en la preparación de referencia y la cuantificación se realizó comparando el área bajo la curva de cada señal (EPA, 1995).

7.3 Fase de gabinete

-Los resultados obtenidos se ordenaron de acuerdo al humedal correspondiente: norte o Chignahuapan, centro o Chimaloapan y sur o Chiconahuapan.

- Finalmente fueron comparadas las concentraciones obtenidas en las muestras de agua procedentes de las ciénegas con los límites permisibles según los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua establecidos por SEDUE (ver anexo 4) y así establecer qué humedal es el más contaminado en caso de rebasar dichos criterios.

8. RESULTADOS

8.1 Estaciones de muestreo

En los siguientes cuadros se indica el número total de los sitios de muestreo para cada una de las Ciénegas del Lerma:

Cuadro 5.- Ubicación de los puntos de muestreo del humedal norte: Chignahuapan				
MES	ESTACIÓN	ALTITUD (msnm)	COORDENADA NORTE (UTM)	COORDENADA ESTE (UTM)
Mayo	1	2585	2125777	447520
Junio	2	2548	2135566	448561
Junio	3	2587	2139190	447354
Junio	4	2585	2140100	448285
Junio	5	2587	2140580	447470
Junio	6	2600	2145000	447180

Cuadro 6.- Ubicación de los puntos de muestreo del humedal centro: Chimaloapan									
MES	ESTACIÓN	ALTITUD (msnm)	COORD. NORTE (UTM)	COORD. ESTE (UTM)	MES	ESTACIÓN	ALTITUD (msnm)	COORD. NORTE (UTM)	COORD. ESTE (UTM)
Marzo	1	2585	2124586	447372	Mayo	13	2581	2127118	448309
Marzo	2	2595	2124205	447662	Mayo	14	2582	2127026	448423
Marzo	3	2598	2121253	445993	Mayo	15	2586	2127156	448793
Marzo	4	2590	2132001	445127	Junio	16	2565	2125770	443815
Abril	5	2586	2124583	447337	Julio	17	2585	2126260	445710
Abril	6	2595	2124206	447661	Julio	18	2585	2127063	444505
Abril	7	2590	2132001	445127	Julio	19	2570	2123840	445900
Mayo	8	2592	2128218	449036	Julio	20	2570	2124520	445900
Mayo	9	2611	2128150	448883	Julio	21	2579	2124578	445773
Mayo	10	2588	2130425	445461	Septiembre	22	2582	2125556	448100
Mayo	11	2587	2130336	445585	Septiembre	23	2580	2125547	448202
Mayo	12	2585	2130543	445696					

Cuadro 7.- Ubicación de los puntos de muestreo del humedal sur: Chiconahuapan				
MES	ESTACIÓN	ALTITUD (msnm)	COORD. NORTE (UTM)	COORD. ESTE (UTM)
Marzo	1	2596	2117634	448288
Abril	2	2595	2121251	445994
Junio	3	2589	2118515	446214
Junio	4	2589	2119084	446062
Julio	5	2585	2115908	446511
Septiembre	6	2590	2116780	447100
Septiembre	7	2590	2116695	447270
Septiembre	8	2594	2116413	447161

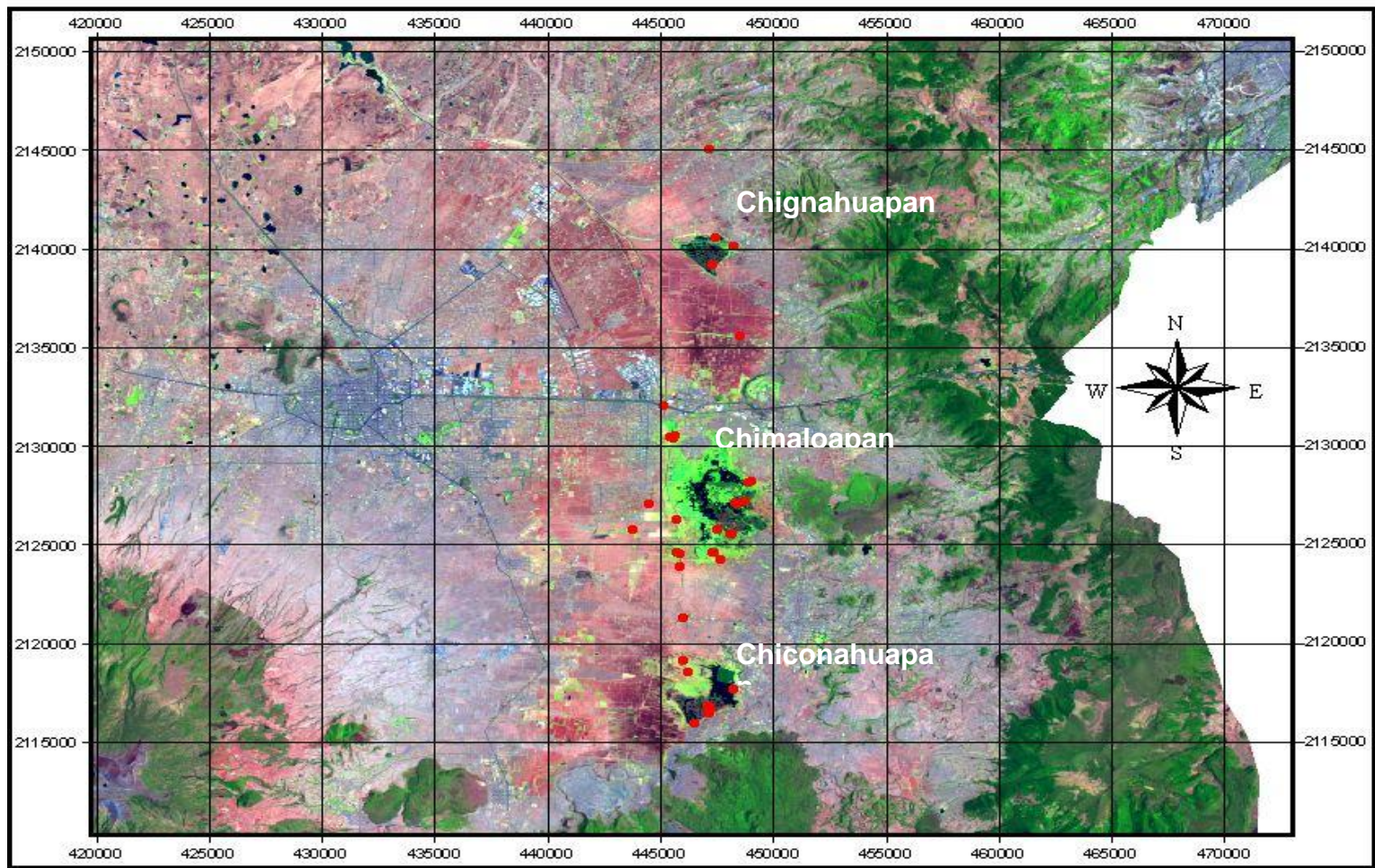


Figura 5.- Representación espacial de los puntos de muestreo.

8.2 Plaguicidas organoclorados

Cuadro 8.-Concentración de plaguicidas organoclorados en mg/L encontrados en el humedal norte: Chignahuapan

ESTACIÓN	MES	Γ-BHC o Lindano	Heptacloro	Aldrín	Heptacloro epóxido	Endosulfán I	Dieldrín	Endosulfán II	Endrín Aldehído	pp-DDT	Dibutilenclorendato	Metoxicloro	
1	May.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
2	Jun.	5.8 x 10⁻³	1.16 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
3	Jun.	ND	2.21 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
4	Jun.	6 x 10 ⁻⁴	8.6 x 10⁻³	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
5	Jun.	2.01 x 10⁻²	1.04 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
6	Jun.	1.45 x 10⁻²	6 x 10⁻³	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
N I V E L E S M A X I M O S C E - C C A - 0 0 1 / 8 9	Fuente de abastecimiento de agua potable		3 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻⁴	3 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻²	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻²	1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³	-	3 x 10 ⁻²
	Recreativo con contacto primario		-	2 x 10 ⁻⁶	5 x 10 ⁻⁵	2 x 10 ⁻⁶	-	3 x 10 ⁻⁶	-	2 x 10 ⁻⁶	5 x 10 ⁻⁶	-	-
	Riego agrícola		-	2 x 10 ⁻²	2 x 10 ⁻²	2 x 10 ⁻²	-	2 x 10 ⁻²	-	-	-	-	-
	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	Agua dulce	2 x 10 ⁻³	5 x 10 ⁻⁴	3 x 10 ⁻³	5 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻³	2 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻³	-	-

ND= No detectado

Nota: Los resultados resaltados en **negritas** indican que rebasan al menos uno de los valores establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

Cuadro 9.- Concentración de plaguicidas organoclorados en mg/L encontrados en el humedal centro: Chimaloapan

ESTACIÓN	MES	Γ-BHC o Lindano	Heptacloro	Aldrín	Heptacloro epóxido	Endosulfán I	Dieldrín	Endosulfán II	Endrín Aldehído	pp-DDT	Dibutilenclorendato	Metoxicloro
1	Mar.	3.26 x 10⁻²	8.6 x 10⁻³	ND	1.51 x 10⁻²	1.6 x 10⁻¹	6 x 10⁻³	ND	ND	ND	ND	ND
2	Mar.	8.3 x 10⁻³	1.56 x 10⁻²	1.23 x 10⁻²	1.1 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	Mar.	3.7 x 10⁻³	1.52 x 10⁻²	1.97 x 10⁻²	ND	3.26 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4	Mar.	3.32 x 10⁻²	3.87 x 10⁻²	3.56 x 10⁻²	1.792 x 10⁻¹	6.9 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	Abr.	6.6 x 10⁻³	2.2 x 10⁻²	8.42 x 10⁻²	1.54 x 10⁻²	ND	5.7 x 10⁻³	ND	ND	ND	3.59 x 10 ⁻²	ND
6	Abr.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.945 x 10⁻²	ND	1.086 x 10⁻¹
7	Abr.	2.4 x 10⁻³	3.51 x 10⁻²	ND	3.2 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	3.36 x 10 ⁻²	ND
8	May.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
9	May.	7.39 x 10⁻²	4.51 x 10⁻²	ND	7.38 x 10⁻²	1.0488	ND	ND	ND	ND	5.57 x 10 ⁻²	5.19 x 10⁻²
10	May.	5.12 x 10⁻²	1.13 x 10⁻¹	3.9 x 10⁻³	1.238 x 10⁻¹	8.926 x 10⁻¹	ND	ND	ND	ND	1.56 x 10 ⁻²	ND
11	May.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	May.	1 x 10 ⁻⁴	ND	ND	8.51 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.09 x 10 ⁻²
13	May.	4 x 10⁻³	3.4 x 10⁻³	ND	5.15 x 10⁻¹	ND	ND	2.51 x 10⁻²	ND	ND	ND	1.863 x 10⁻¹
14	May.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	May.	ND	1.48 x 10⁻²	ND	4.667 x 10⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9.001 x 10⁻¹
16	Jun.	5.26 x 10⁻²	ND	4.8 x 10⁻³	ND	ND	1.47 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND
17	Jul.	1.62 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	Jul.	1.02 x 10⁻²	2.2 x 10⁻²	ND	ND	ND	1.28 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND
19	Jul.	5.4 x 10⁻³	1.02 x 10⁻²	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20	Jul.	1.609 x 10⁻¹	7 x 10⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21	Jul.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22	Sep.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23	Sep.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NIVELES MÁXIMOS CECACA-001/89	Fuente de abastecimiento de agua potable.	3 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻⁴	3 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁴	7 x 10 ⁻²	7 x 10 ⁻⁷	7 x 10 ⁻²	1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³	-	3 x 10 ⁻²
	Recreativo con contacto primario	-	2 x 10 ⁻⁶	5 x 10 ⁻⁵	2 x 10 ⁻⁶	-	3 x 10 ⁻⁶	-	2 x 10 ⁻⁶	5 x 10 ⁻⁶	-	-
	Riego agrícola	-	2 x 10 ⁻²	2 x 10 ⁻²	2 x 10 ⁻²	-	2 x 10 ⁻²	-	-	-	-	-
	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	Agua dulce	2 x 10 ⁻³	5 x 10 ⁻⁴	3 x 10 ⁻³	5 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻³	2 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻³	-

ND = No detectado . Nota: Los resultados resaltados en **negritas** indican que rebasan al menos uno de los valores establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

Cuadro 10.- Concentración de plaguicidas organoclorados en mg/L encontrados en el humedal sur: Chiconahuapan

ESTACIÓN	MES	Γ-BHC o Lindano	Heptacloro	Aldrín	Heptacloro epóxido	Endosulfán I	Dieldrín	Endosulfán II	Endrín Aldehído	pp-DDT	Dibutilenclorendato	Metoxicloro	
1	Mar.	4.7×10^{-3}	2.72×10^{-2}	2.2×10^{-2}	1.09×10^{-2}	4×10^{-2}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
2	Abr.	ND	ND	ND	ND	ND	2.09×10^{-2}	ND	ND	1.262×10^{-1}	9.72×10^{-2}	ND	
3	Jun.	2.6×10^{-3}	1.63×10^{-2}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
4	Jun.	8×10^{-3}	4.32×10^{-2}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
5	Jul.	1.71×10^{-1}	2.64×10^{-2}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
6	Sep.	ND	2.35×10^{-2}	ND	5.73×10^{-2}	ND	ND	ND	ND	ND	7.43×10^{-2}	4.2122	
7	Sep.	ND	4×10^{-4}	ND	1.4×10^{-3}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.85×10^{-2}	
8	Sep.	ND	4×10^{-4}	ND	2.4×10^{-3}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.322×10^{-1}	
N I V E L E S M A X I M O S C E - C C A - 0 0 1 / 8 9	Fuente de abastecimiento de agua potable		3×10^{-3}	1×10^{-4}	3×10^{-5}	1×10^{-4}	7×10^{-2}	7×10^{-7}	7×10^{-2}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	-	3×10^{-3}
	Recreativo con contacto primario		-	2×10^{-6}	5×10^{-5}	2×10^{-6}	-	3×10^{-6}	-	2×10^{-6}	5×10^{-6}	-	-
	Riego agrícola		-	2×10^{-2}	2×10^{-2}	2×10^{-2}	-	2×10^{-2}	-	-	-	-	-
	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	Agua dulce	2×10^{-3}	5×10^{-4}	3×10^{-3}	5×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-3}	2×10^{-4}	2×10^{-5}	1×10^{-3}	-	-

ND = No detectado

Nota: Los resultados resaltados en **negritas** indican que rebasan al menos uno de los valores establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

8.3 Cromatogramas de plaguicidas organoclorados

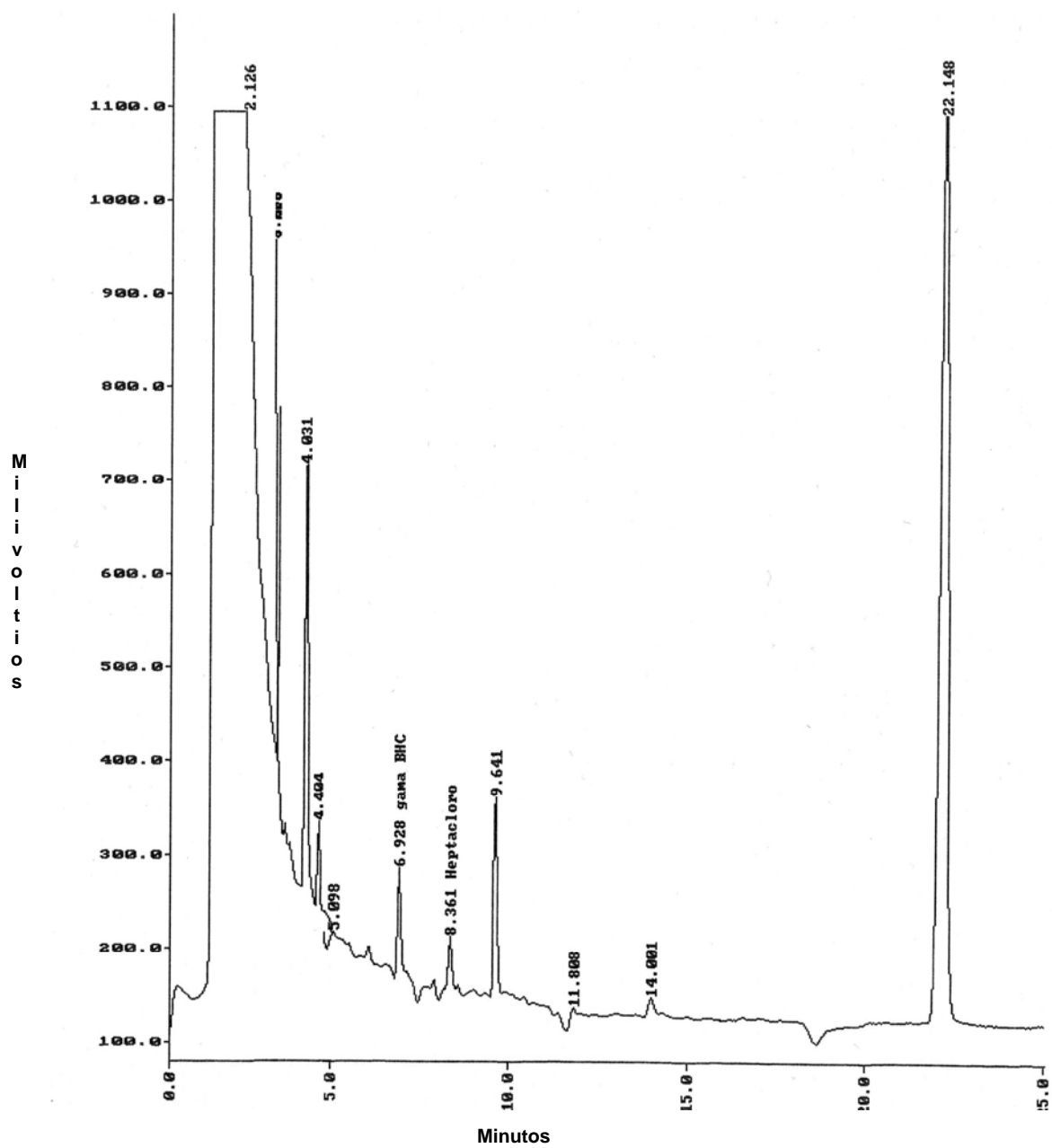


Figura 6.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación dos del humedal norte: Chignahuapan.

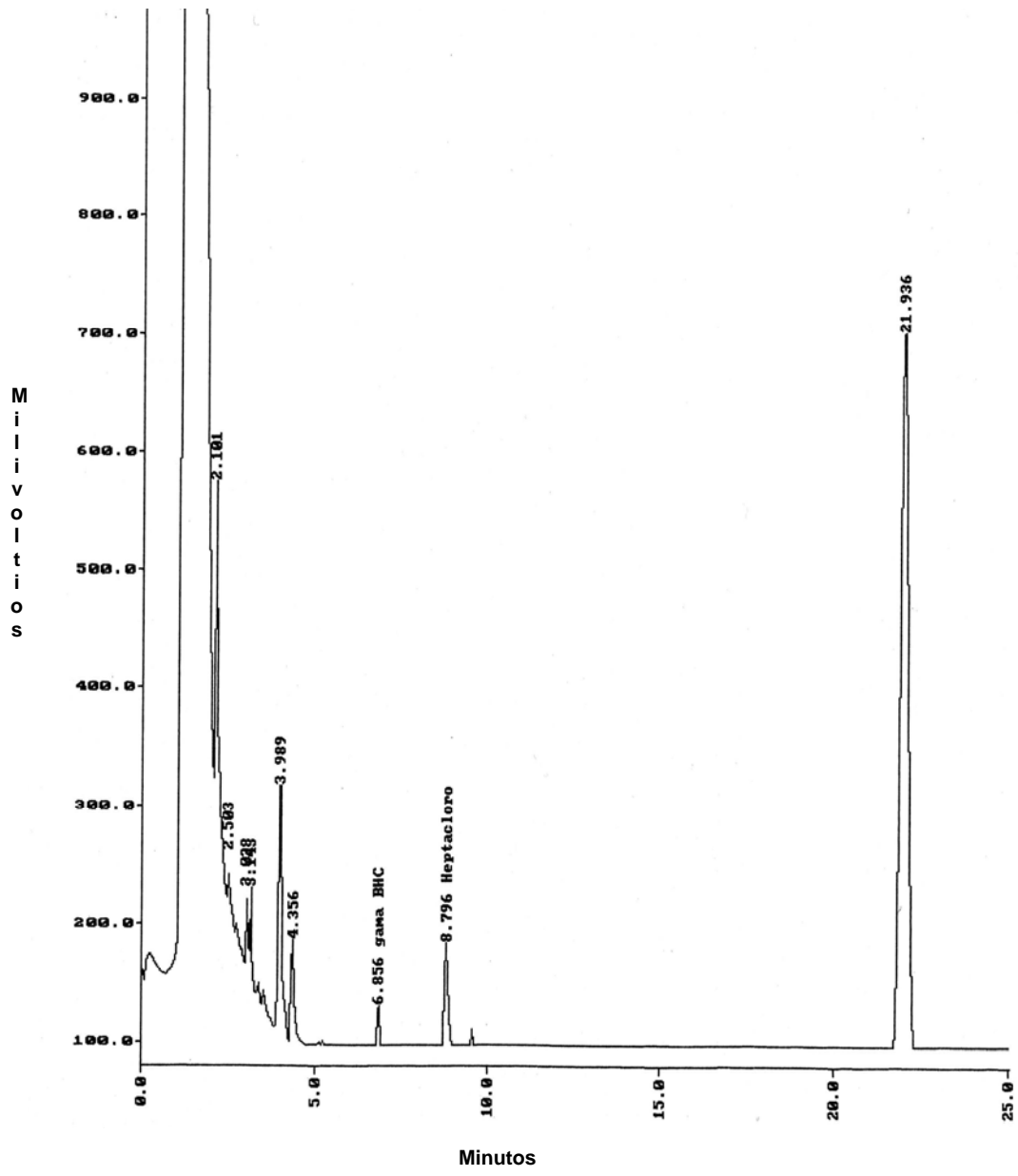


Figura 7.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación cuatro del humedal norte: Chignahuapan

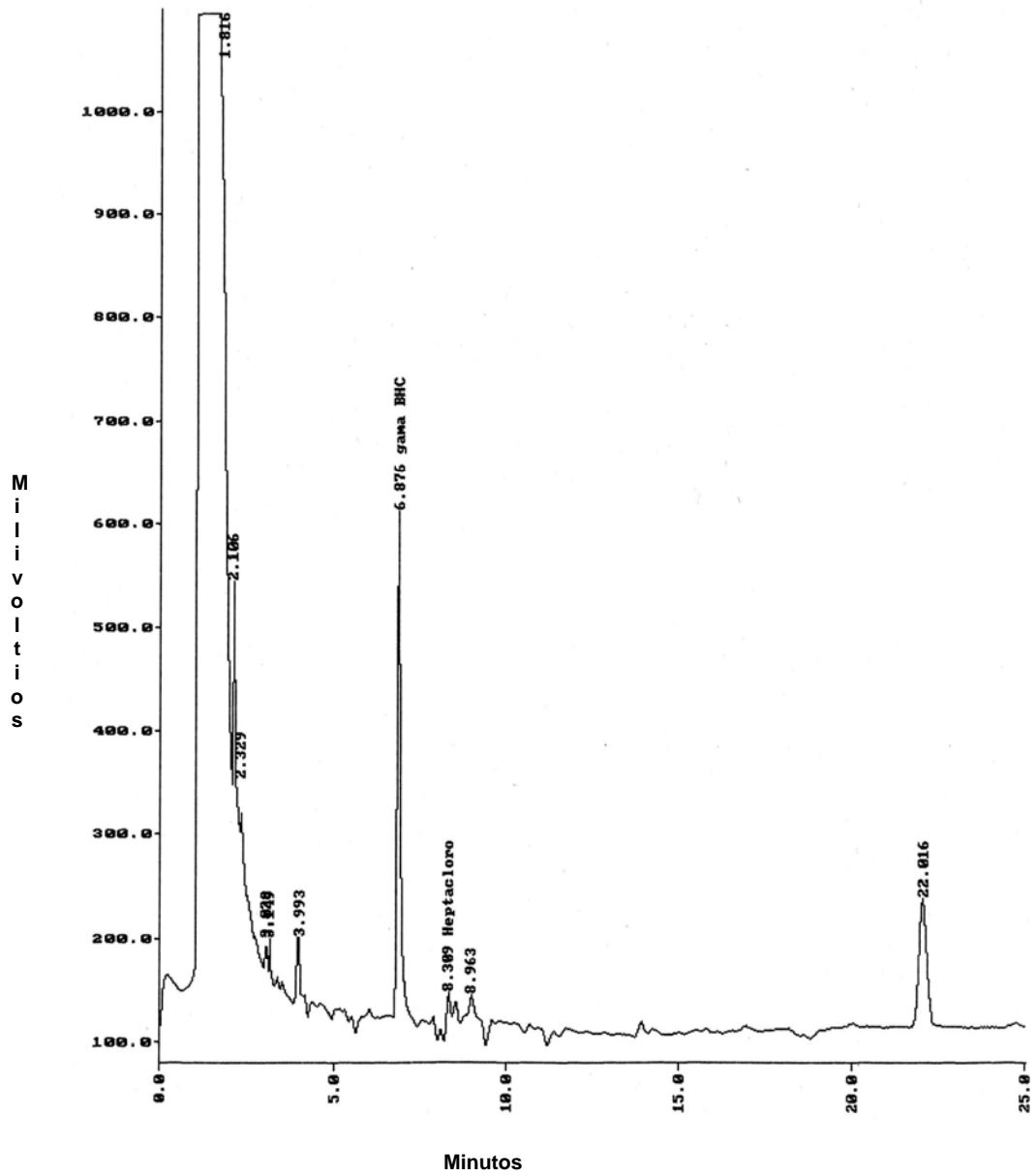


Figura 8.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación cinco del humedal norte: Chignahuapan

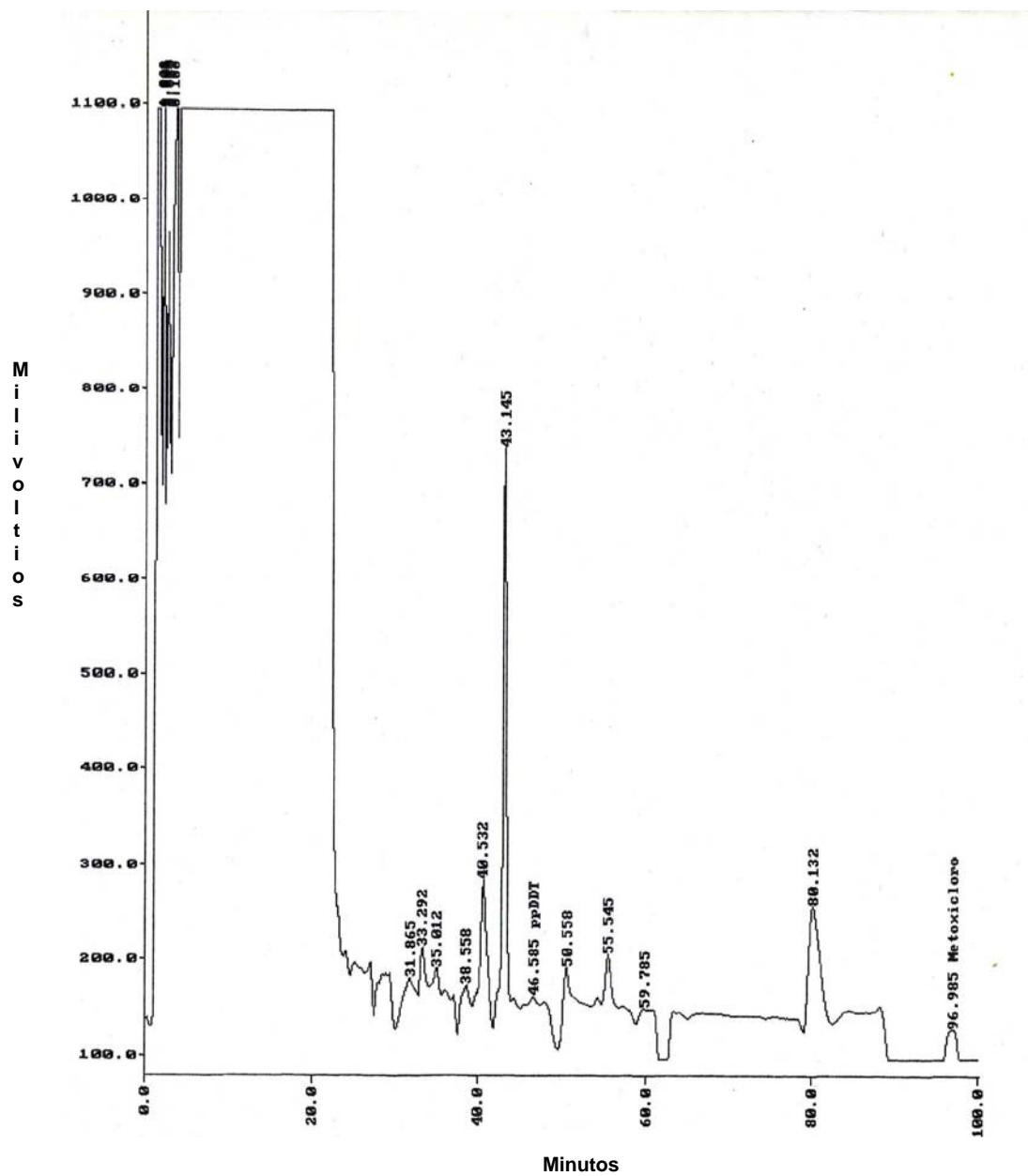


Figura 9. Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación seis del humedal centro: Chimaloapan

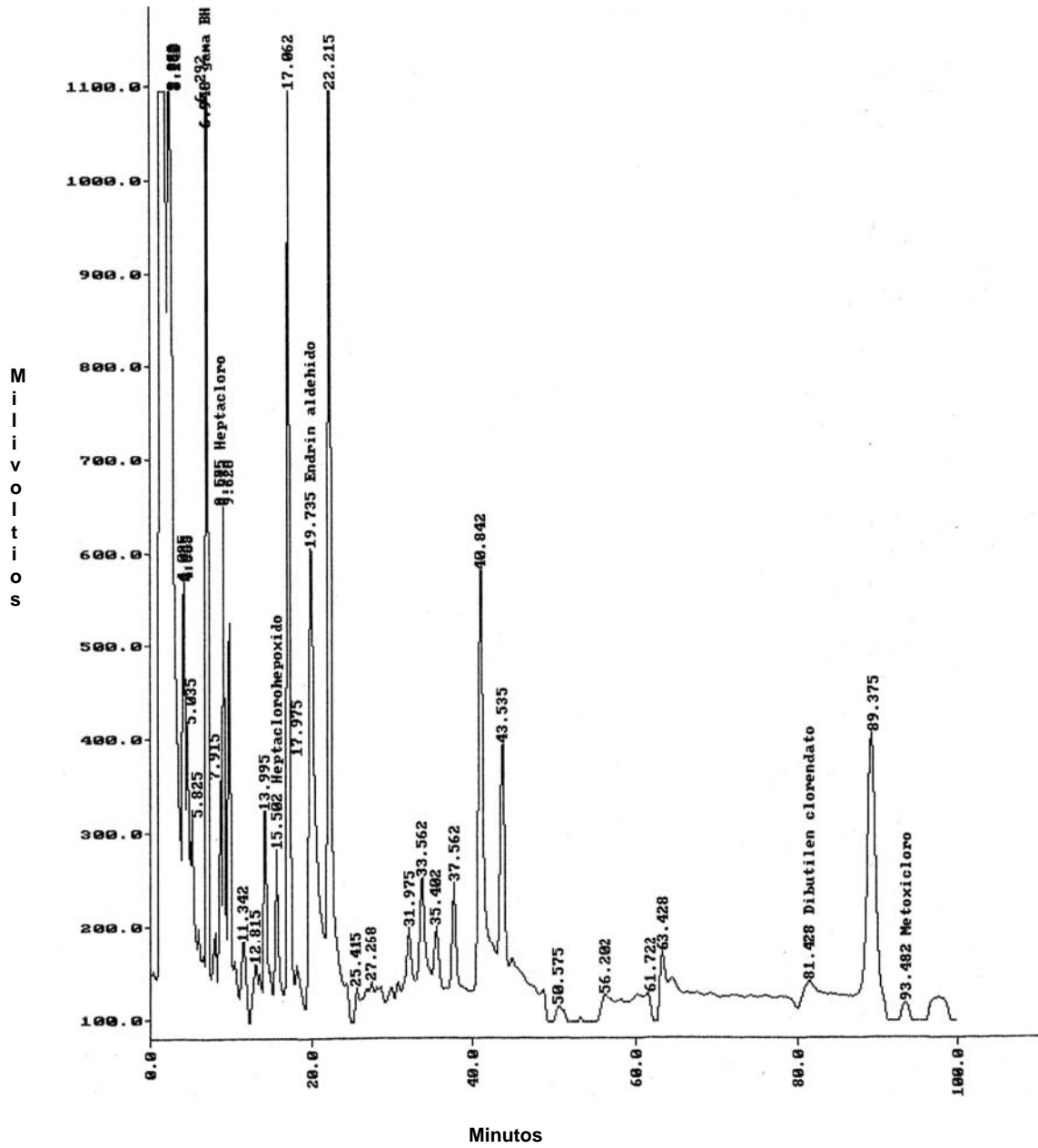


Figura 10.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación nueve del humedal centro: Chimaloapan

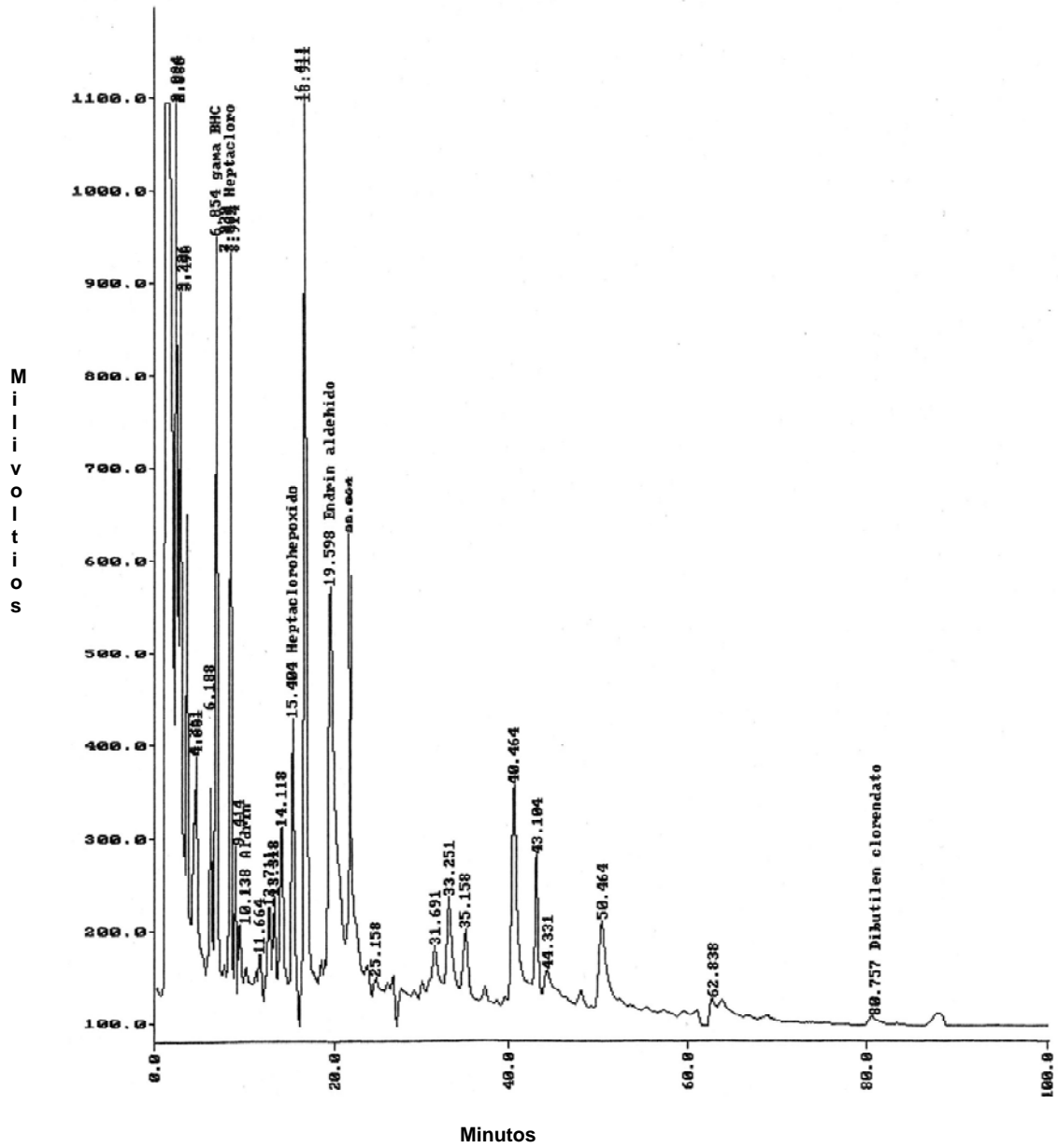


Figura 11.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación 10 del humedal centro: Chimaloapan

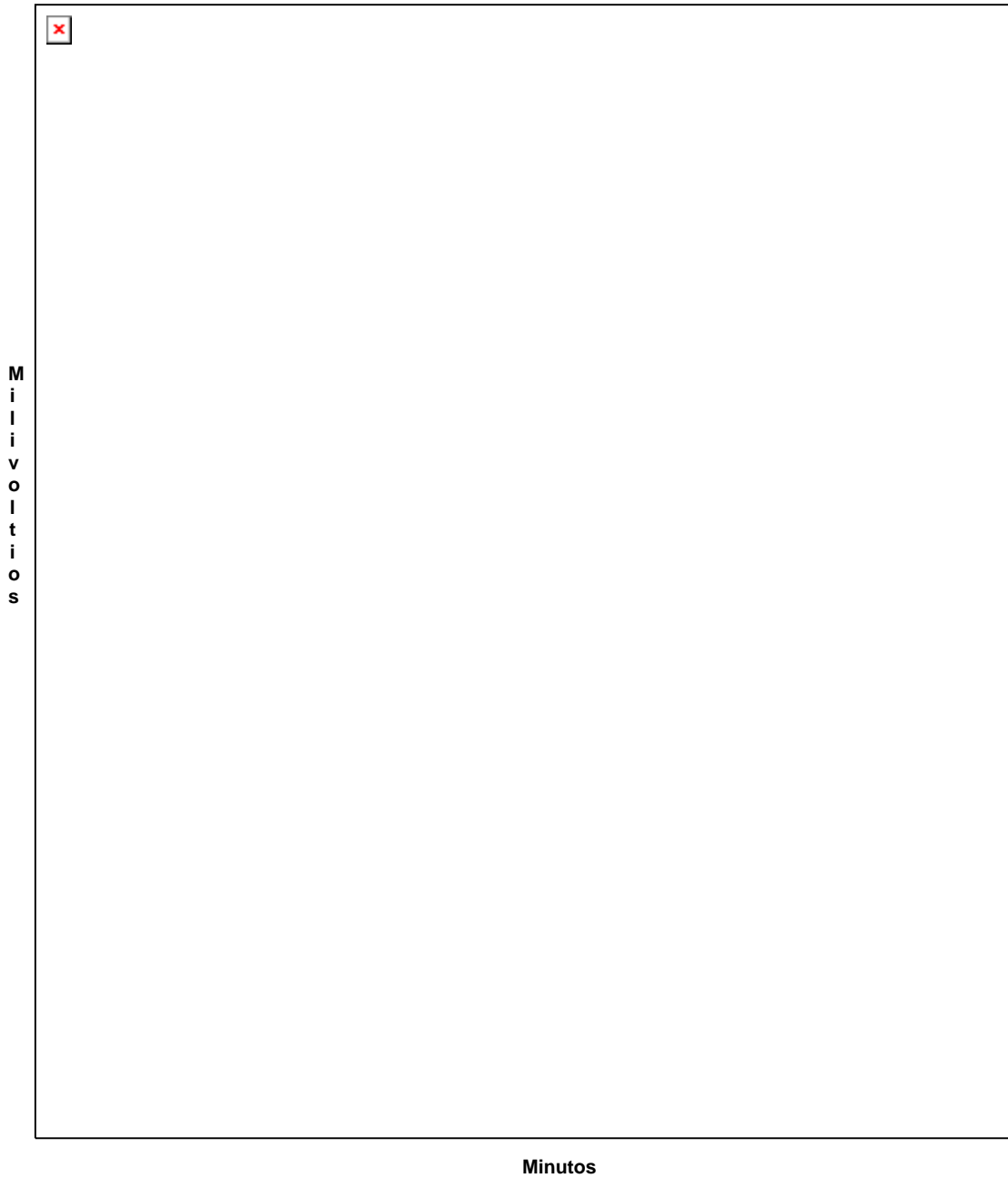


Figura 13.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación 15 del humedal centro: Chimaloapan

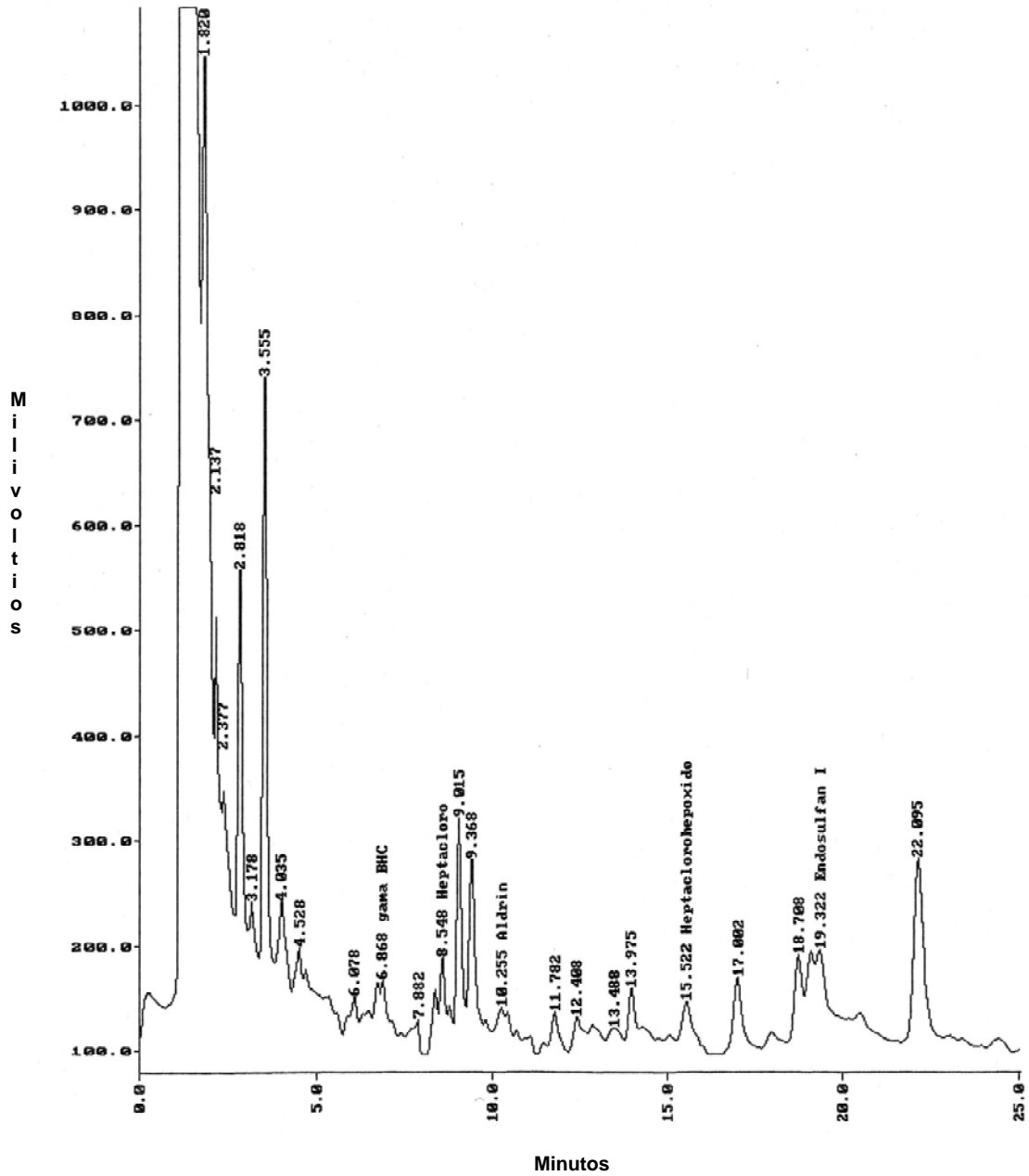


Figura 14.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación uno del humedal sur: Chiconahuapan.

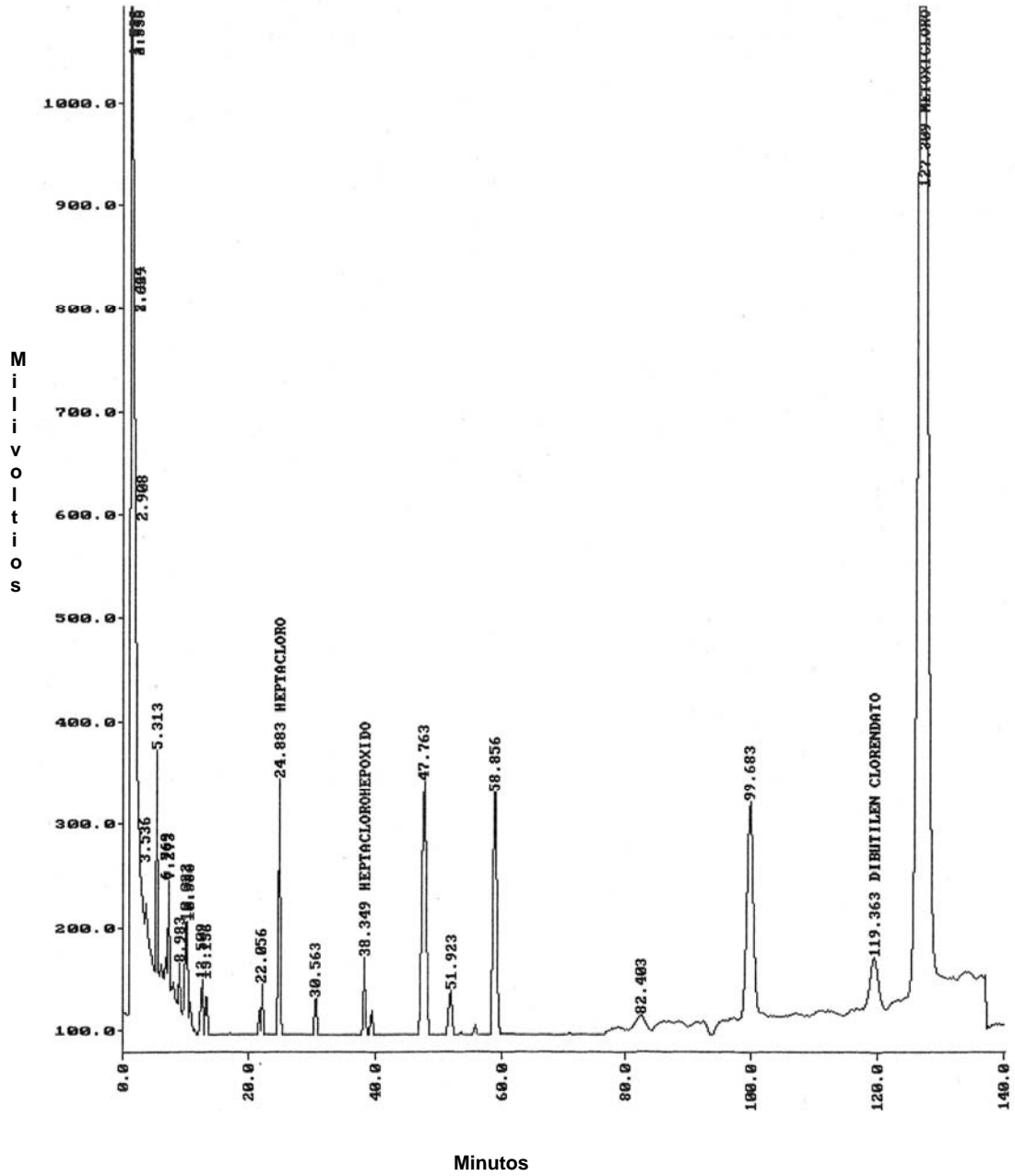


Figura 15.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación seis del humedal sur: Chiconahuapan

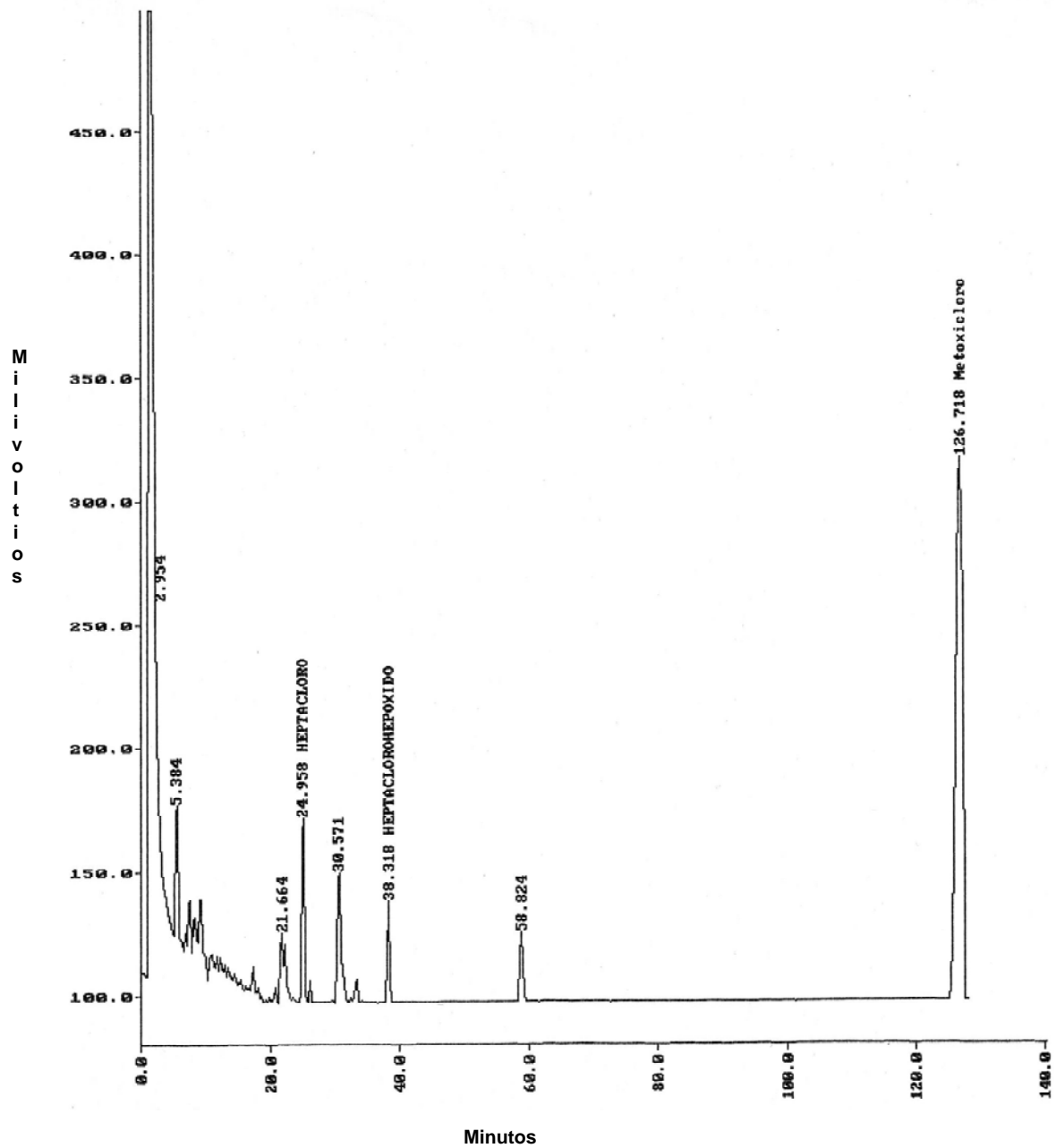
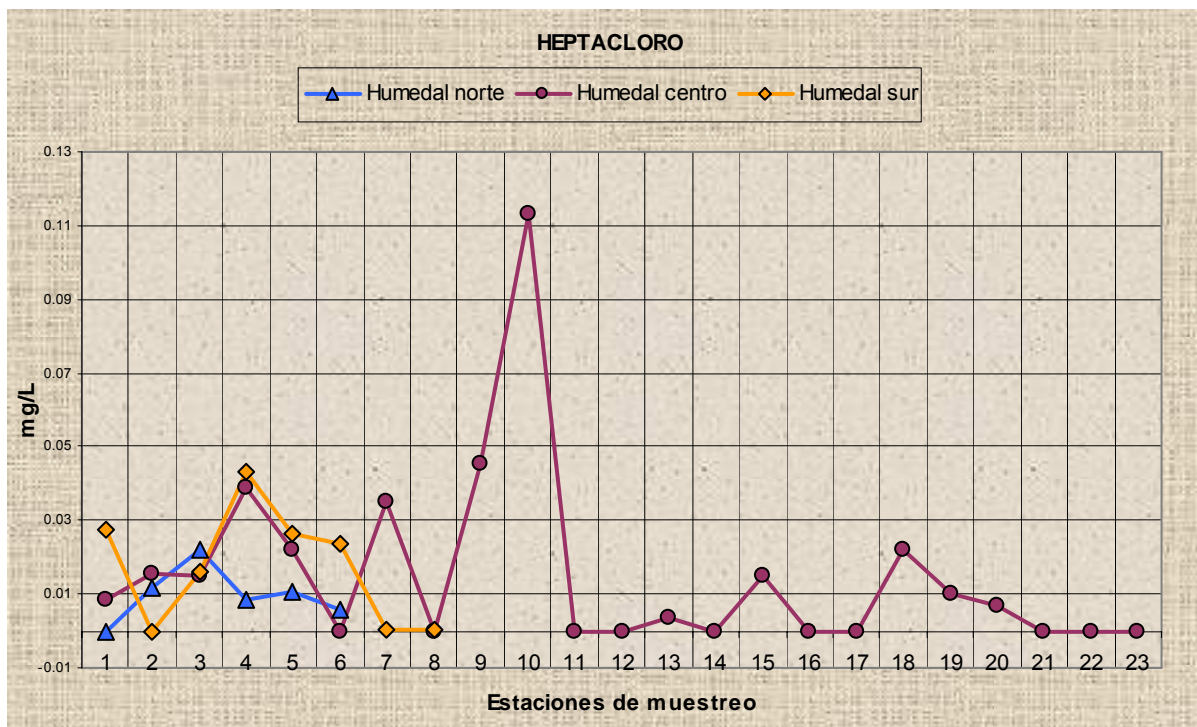
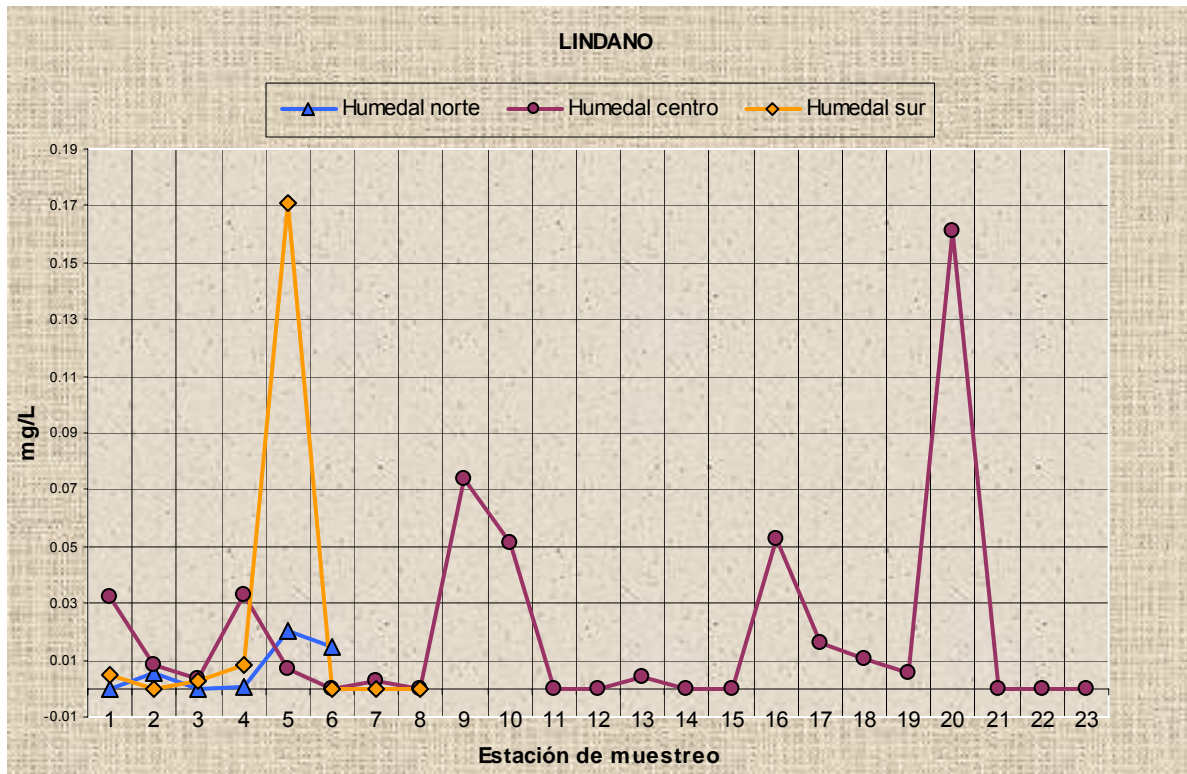
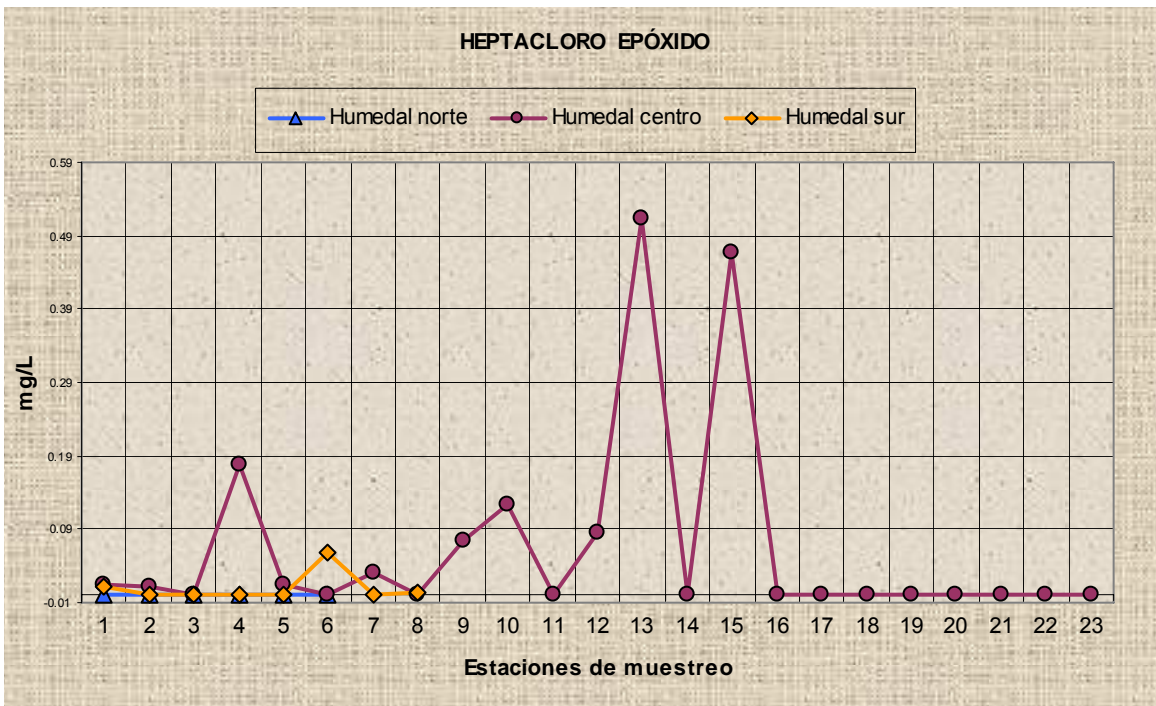
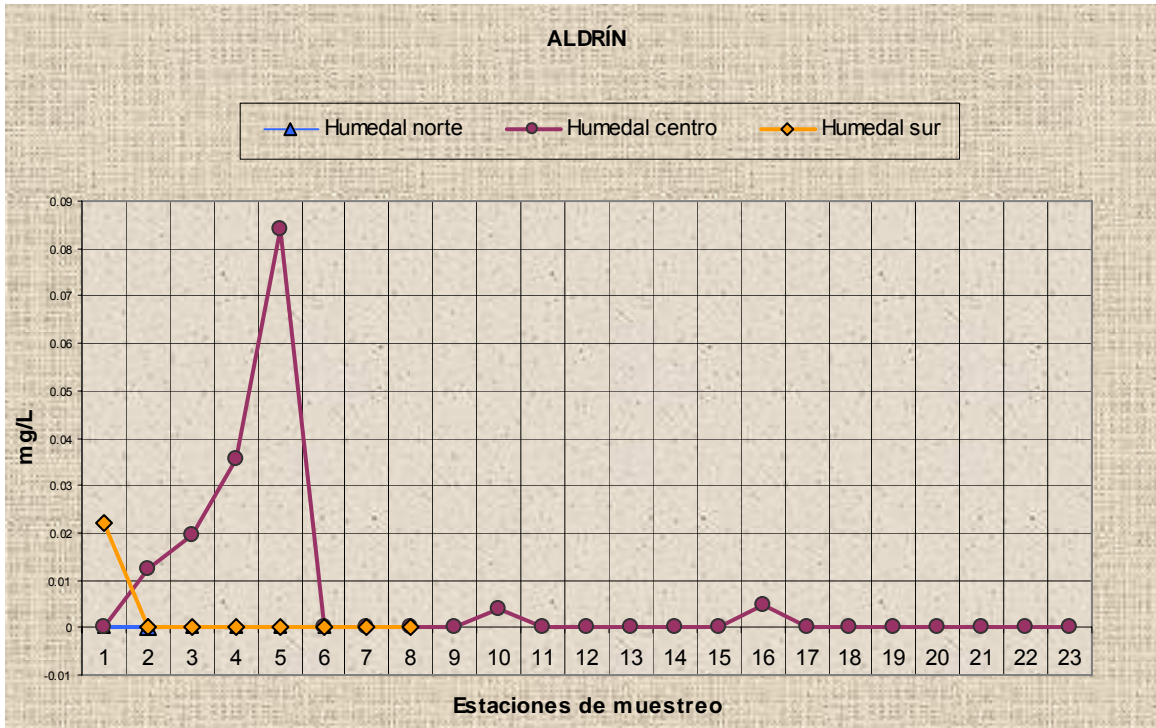
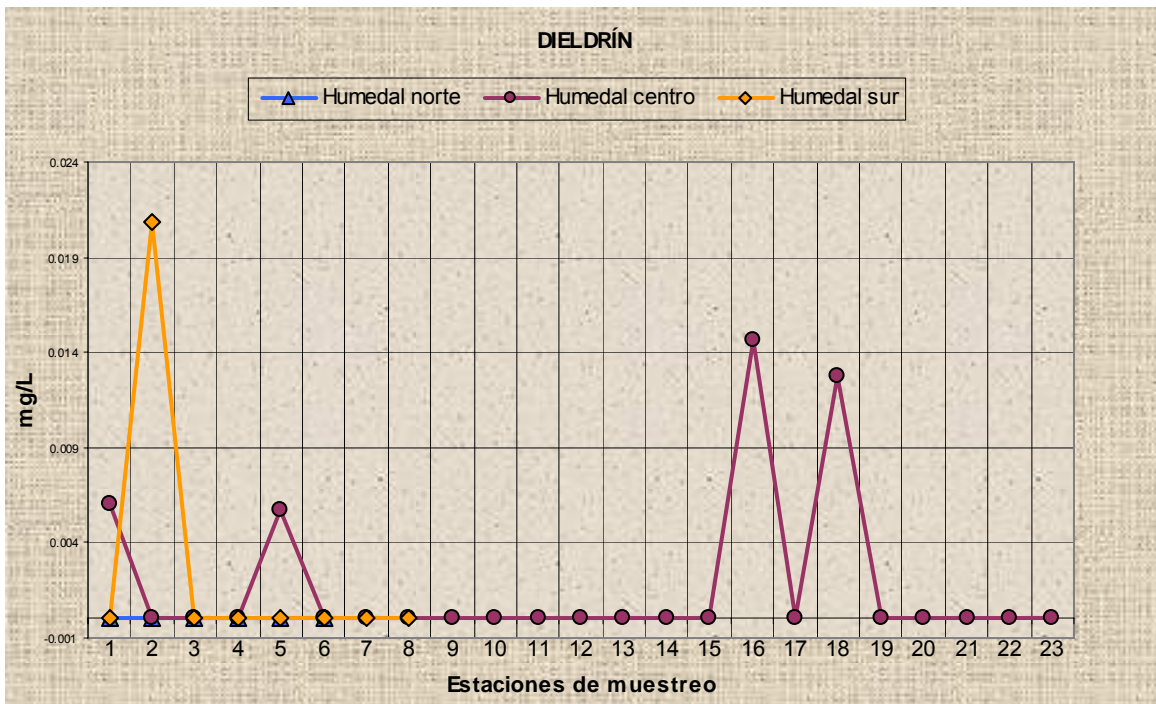
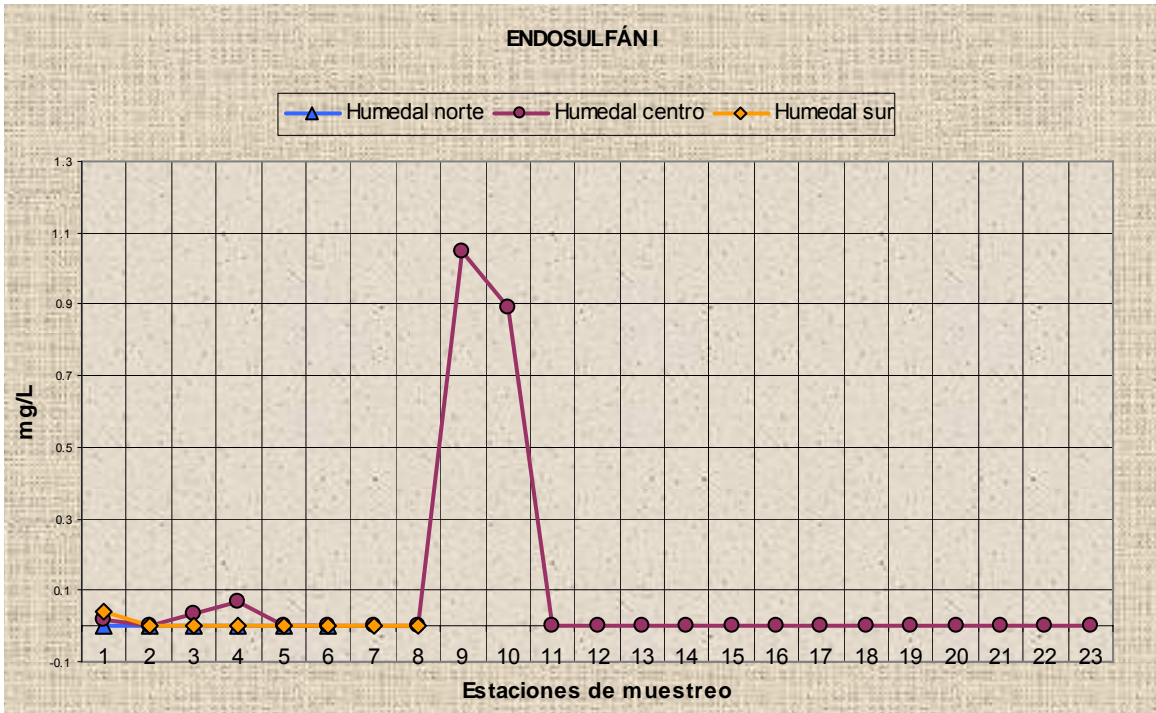


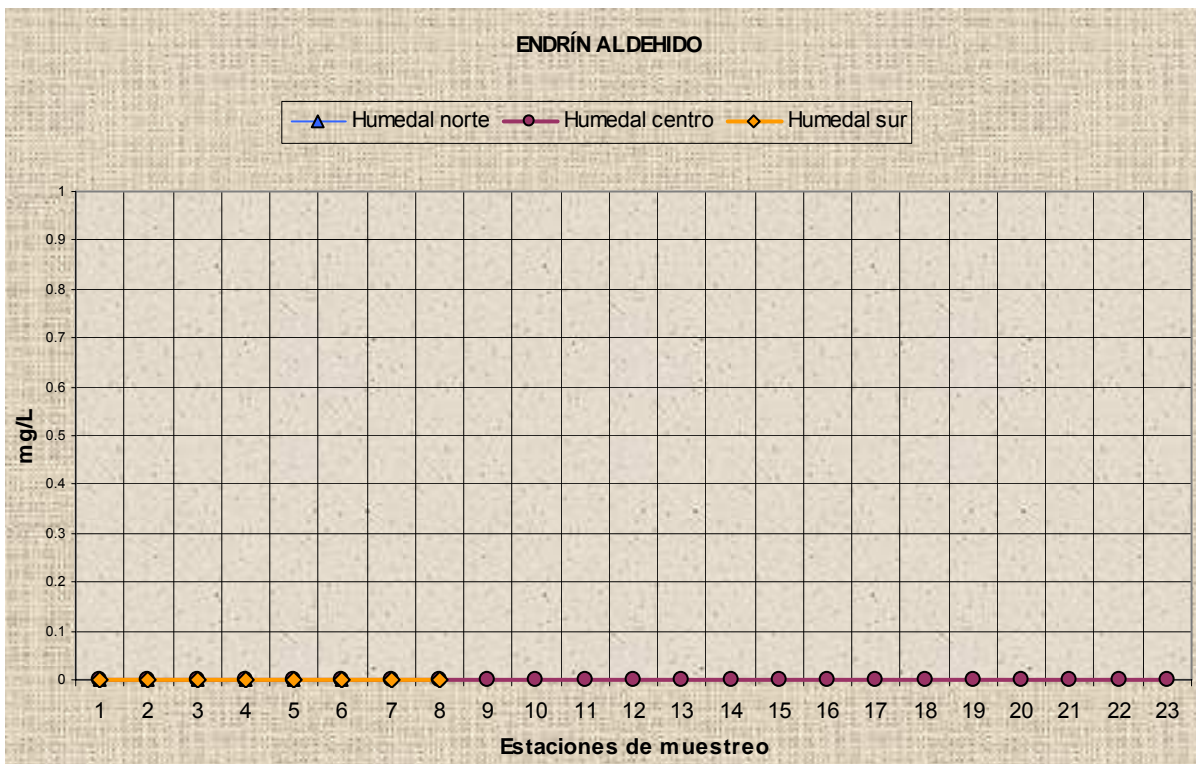
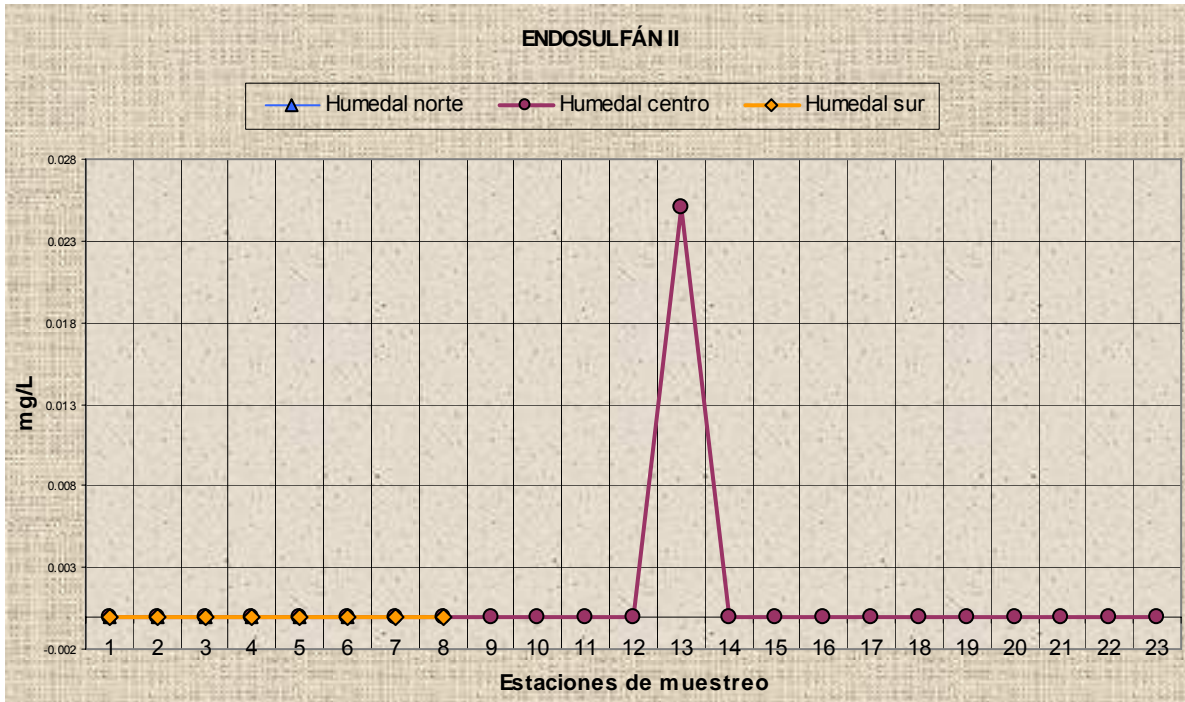
Figura 16.- Cromatograma de plaguicidas organoclorados encontrados en la estación siete del humedal sur: Chiconahuapan.

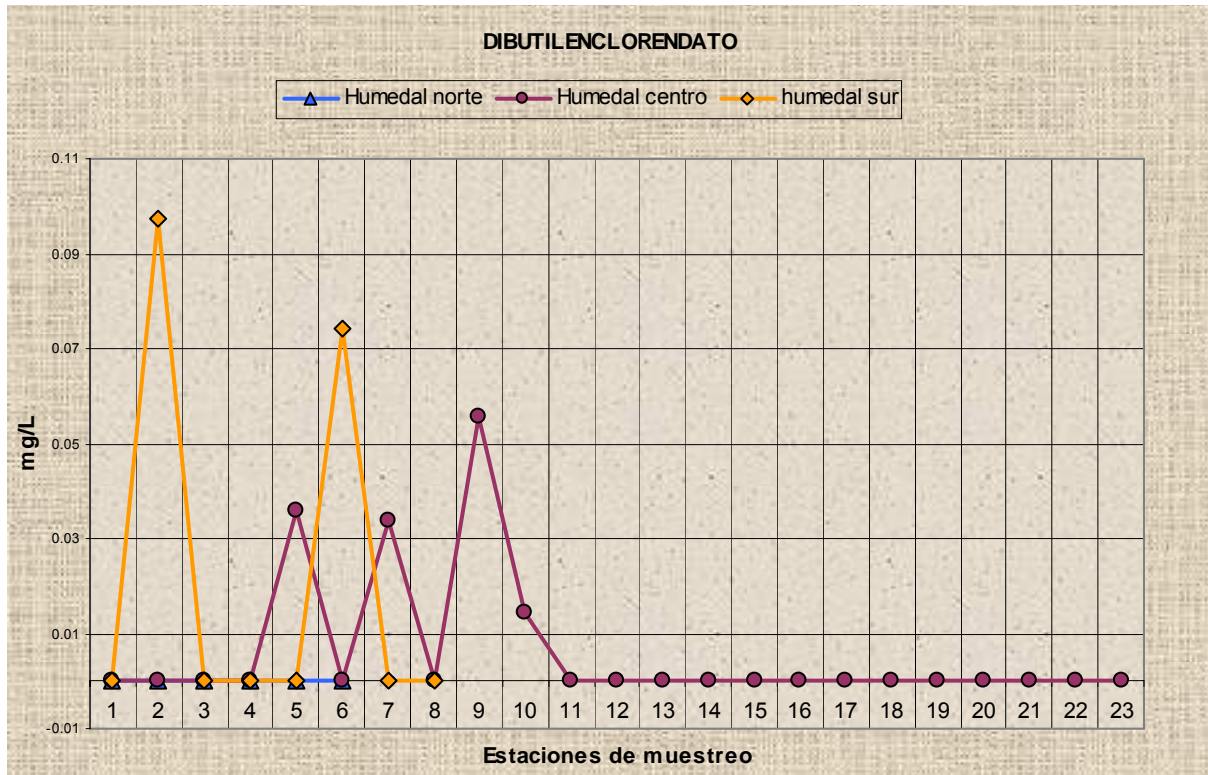
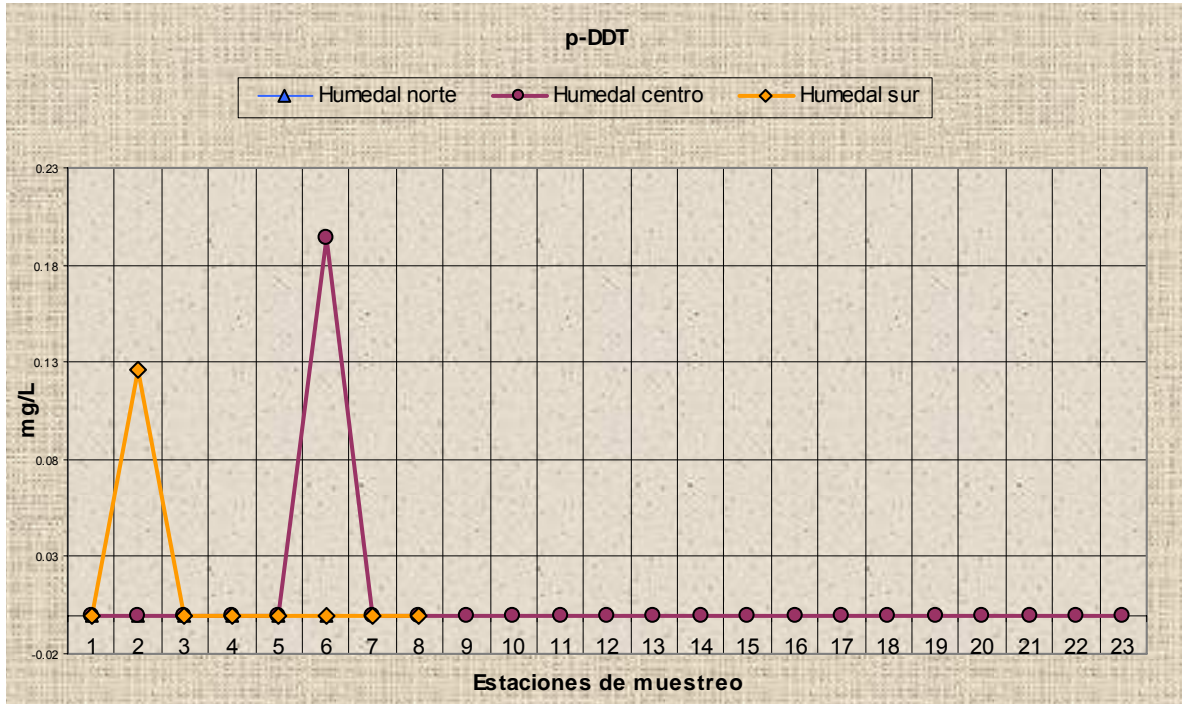
8.4 Gráficas de resultados

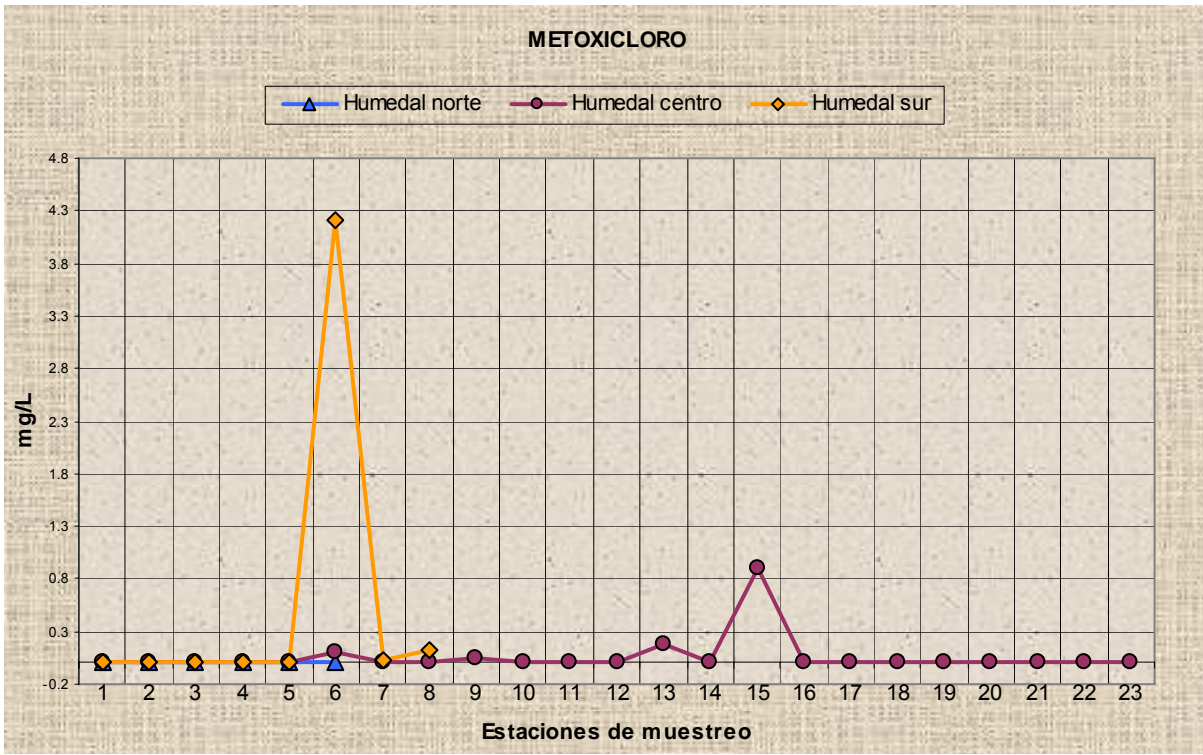












9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La problemática por los efectos de plaguicidas organoclorados ocupa estudios a nivel internacional, por ejemplo; en el periodo comprendido del verano al invierno de 2005, se realizó un estudio en los ecosistemas del Delta del Río Colorado para determinar los principales plaguicidas organoclorados presentes en este sistema y se encontró que en el 40% de las muestras de agua colectadas, los plaguicidas hexaclorociclohexano, lindano, heptacloro, aldrín, endrín, DDT, DDE y DDD estuvieron presentes pero en bajas concentraciones, sin embargo; al analizar los drenes del sur del delta así como en la boca del río, las concentraciones detectadas fueron altas especialmente con respecto a DDT (CONACYT-SEMARNAT, 2005).

Los primeros estudios realizados sobre plaguicidas clorados en nuestro país pueden atribuirse a los doctores Vázquez Botello y Páez quienes en 1986 realizaron un estudio sobre contaminación en el Río Coatzacoalcos. Su trabajo incluyó a los plaguicidas organoclorados y encontraron que la cantidad de carbono orgánico está vinculado con la presencia y concentración de dichas sustancias. En el estudio sedimentológico detectaron altas concentraciones de BHC seguido por aldrín, dieldrín y lindano, las concentraciones de estos fueron consistentes con el porcentaje de carbono orgánico presente en el sedimento constituido por limo y arcilla.

Con respecto al trabajo realizado en las Ciénegas del Lerma, los plaguicidas organoclorados más frecuentes en los fueron en primer lugar heptacloro, el cual fue encontrado en 25 de 37 estaciones y en segundo lugar lindano, encontrado en 23 de las 37 estaciones monitoreadas; ambos rebasaron al menos uno de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. El resto de los plaguicidas tales como Aldrín, Endosulfán I y II, Dieldrín, Dibutilencloretrato, pp-DDT, Endrín aldehído y

Metoxicloro, no se encontraron tan frecuentemente pero en algunas estaciones en las que sí fueron detectados, rebasaron al menos uno de los Niveles Máximos permitidos por CE-CCA-001/81. A continuación, se discute la presencia de plaguicidas organoclorados encontrados en los humedales, dividiendo los meses de muestreo como anteriores a la época de lluvias (marzo a abril) y correspondientes a la época de lluvias (mayo a septiembre).

LINDANO

Dicha sustancia está catalogada por CICOPRAFEST como un plaguicida de uso restringido ya que la persistencia que este compuesto presenta es alta, pues su estabilidad y dinámica ambiental ha permitido constatar la facilidad de transporte así como su toxicidad ya que se le ha encontrado en zonas polares aún no siendo producido ni aplicado en esos lugares (Avalos y Ramírez, 2003).

Gitahi *et al.* (2002), refiere que la presencia de Lindano en un lago de Kenya fue frecuente en las muestras de agua analizadas. Estos niveles oscilaron entre 9 -- 140 $\mu\text{g L}^{-1}$, valores altos que sugieren aplicaciones frecuentes sobre este sistema africano pese a la restricción en su uso. Pero eso no fue lo más sorprendente en el estudio sino que al comparar las concentraciones obtenidas de este plaguicida en distintas fuentes alimenticias como la leche materna, se observó que fueron de 10 -139 ppb, en tanto que en el huevo de gallina fue de 10-110 ppb.

Aunque no se pueden aseverar que en las Ciénegas del Lerma existen recientes aplicaciones de lindano, su presencia también fue notoria en los tres humedales como a continuación se explica:

En el humedal norte o Chignahuapan, en las seis estaciones para los meses de mayo y junio, las concentraciones fluctuaron entre no detectadas hasta 5.8×10^{-3} mg L⁻¹.

El humedal centro o Chimaloapan se detectó en las estaciones uno a siete de marzo a abril entre una concentración no detectable hasta 8.3×10^{-3} mg L⁻¹ y de mayo a septiembre para las estaciones ocho a 23, desde valores no detectados hasta 7.39×10^{-2} mg L⁻¹.

Finalmente el humedal sur o Chiconahuapan, para el mes de marzo se detectó una concentración de 4.7×10^{-3} mg L⁻¹ en tanto que en abril no se detectó alguna concentración. De junio a septiembre el intervalo fue desde no detectado hasta 8×10^{-3} mg L⁻¹.

Al comparar las concentraciones obtenidas en las Ciénegas del Lerma con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89), se rebasan en unas cuantas unidades los niveles máximos establecidos sobre todo al observar las concentraciones permitidas en agua dulce. Prácticamente estos resultados pueden atribuirse al uso restringido de dicha sustancia por lo que al parecer las medidas hasta el momento tomadas en nuestro país, al menos para esta zona con respecto al uso del lindano, han sido provechosas.

HEPATACLORO Y HEPTACLORO EPÓXIDO:

Yarto, *et al.* 2003, indican que este es un insecticida usado para combatir plagas en suelo y en cultivos; así como termitas, saltamontes, hormigas rojas y mosquitos. Este compuesto no está registrado en México y por tanto es un plaguicida prohibido, lo que significa que no puede ser producido, formulado, comercializado, usado e importado de manera legal en nuestro país. Según los

autores, se desconoce si es usado de manera clandestina y aunque no se han realizado acciones que mitiguen el uso del heptacloro, el único logro hasta el momento es mantener la prohibición de su ingreso a nuestro país.

El heptacloro fue encontrado en los tres humedales, en un total de 25 de las 37 estaciones monitoreadas. Cabe destacar que los poblados aledaños a las Ciénegas del Lerma, son fabricantes de muebles, producto de la tala clandestina de árboles en esta zona y que para prevenir el ataque de termitas durante el tiempo que permanece almacenada la materia prima, probablemente se utiliza este insecticida.

Para el humedal norte o Chignahuapan el intervalo de concentración encontrado de mayo a junio, es decir, durante la época de lluvias, fue desde no detectado a $8.6 \times 10^{-3} \text{ mg L}^{-1}$ para el total de las estaciones de monitoreo (seis en total).

En el humedal centro o Chimaloapan, el intervalo de concentración en los meses anteriores a la época de lluvias, comprendidos de marzo a abril fue de no detectado a $8.6 \times 10^{-3} \text{ mg L}^{-1}$ correspondientes a las estaciones uno a siete. De mayo a septiembre de igual manera el intervalo fue desde no detectado a $7 \times 10^{-1} \text{ mg L}^{-1}$ en las estaciones 8 a 23.

En el humedal sur o Chiconahuapan, las concentraciones encontradas en marzo y abril fueron desde no detectado a $2.2 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$. De junio a septiembre las concentraciones oscilaron desde 1.63×10^{-2} a $4.32 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$ en las estaciones tres a ocho.

Dado que el producto de degradación de este plaguicida es el heptacloro epóxido, podría suponerse que a la par se encuentren ambas sustancias pero en este caso

llama la atención que la presencia de este subproducto no siempre fué encontrado en todas las estaciones coincidiendo con heptacloro.

En el humedal norte, no se detectaron trazas de este compuesto en las seis estaciones monitoreadas comprendidas entre mayo y junio.

Con respecto al humedal centro, de marzo a abril ocurrieron desde un valor no detectado a $3.2 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$ y de mayo a septiembre desde no detectado a $8.51 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$.

En el humedal sur, en marzo se detectó una concentración de $1.09 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$ correspondiente a la estación uno y en abril no se detectó heptacloro epóxido en la estación dos. De junio a septiembre, en las estaciones tres a ocho la presencia de este insecticida fue desde no detectado hasta $5.73 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$.

Los valores obtenidos de heptacloro y heptacloro epóxido rebasan los niveles máximos permitidos en al menos uno de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua establecidos por SEDUE que van desde 2×10^{-6} a $2 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$, como se aprecia al final de cada cuadro y en el anexo 13.4. Antes y durante la época de lluvias, no se encontraron disminuciones en las concentraciones de ambos compuestos, esto puede indicar que hay aplicaciones recientes de heptacloro, sin importar las aportaciones del arrastre de suelo, en época de lluvias y que la irregular presencia de su epóxido (mucho más tóxico para los organismos en los que se llega a depositar) se debe a que aún no se ha degradado el compuesto que le da origen.

ALDRÍN Y DIELDRÍN

El Aldrín es un plaguicida prohibido en nuestro país para el uso agrícola de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación del 3 de enero de 1991. Lamentablemente y pese a su prohibición, se desconoce si es utilizado de manera clandestina, si al encontrarse en el ambiente los volúmenes fueron aplicados antes de su prohibición y los daños ecotoxicológicos que puede causar (Yarto, *et al* 2003). El dieldrin es un pesticida funcional, pero también es un metabolito persistente en el ambiente formado a partir del aldrín. Gitahi, *et al.* (2002) indicó que los valores de estos compuestos encontrados en los sedimentos del lago Nivasha fueron relativamente similares, ya que las concentraciones de aldrín iban desde 10 a 119 ppm y de dieldrín 11 a 115 ppm.

En nuestro trabajo, los plaguicidas aldrín y dieldrín solo fueron encontrados tanto en el humedal centro como en el sur. En el humedal centro de marzo a abril la detección de aldrín osciló entre concentraciones no detectadas hasta 8.42×10^{-2} mg L⁻¹ en tanto que para el dieldrín, se reportó para el mismo periodo, concentraciones desde no detectadas hasta 6×10^{-3} mg L⁻¹. Para la época de lluvias se detectó aldrín en la estación 10 correspondiente al mes de mayo en una concentración de 3.9×10^{-3} y para junio en la estación 16 con una concentración de 4.8×10^{-3} mg L⁻¹ y para el resto de la temporada de lluvias no fue detectado. Dieldrín se detectó en junio y julio con concentraciones de 1.47×10^{-2} mg L⁻¹ de la estación 16 y 1.28×10^{-2} mg L⁻¹ en la estación 18.

El humedal sur se detectó aldrín con una concentración de 2.2×10^{-2} mg L⁻¹ en la estación uno correspondiente al mes de marzo y dieldrín con una concentración de 2.09×10^{-2} mg L⁻¹ en la estación dos perteneciente al mes de abril.

De acuerdo a los niveles máximos establecidos en la referencia ya citada, para el caso de aldrín las concentraciones permitidas van desde 2×10^{-6} a 2×10^{-2} mg L⁻¹ en tanto que para dieldrín las concentraciones varían desde 7×10^{-7} a 2×10^{-2} mg L⁻¹. Evidentemente se rebasan los criterios antedichos. De igual manera que el heptacloro, ambas sustancias son insecticidas que se pueden emplear en el combate de termitas y otras plagas invasoras de la madera, saltamontes, y escarabajos.

ENDOSULFÁN I Y II

Son agroquímicos de uso restringido para su empleo en México (CICOPLAFEST, 1996 citado en Urbieto y Flores, 2004), como insecticida en hortalizas, frutas, cereales, semillas oleaginosas y para el combate de la mosca tse- tse (OMS, 1995).

En un estudio realizado en Coahuila (García y Toalá, 1995), cuyo propósito fue diagnosticar el nivel o grado de contaminación del cultivo de melón en la Comarca Lagunera, observaron que las concentraciones de endosulfán I y II eran altas ya que para cada caso detectaron 8.680 ppm y 7.36×10^{-3} ppm tan solo en suelo, atribuyendo esto al tipo de cultivo de utilizado (monocultivo), una alta demanda del producto que sugiere una explotación agrícola intensiva, la situación geográfica de esta región (formando parte de una cuenca endorreica) y las características hidrológicas y edáficas que favorecen la presencia de plaguicidas en el medio. Aunque el estudio solamente comprendió el estrato suelo ellos pretendían implementar un método eficaz para analizar el manto freático y del cual pensaban encontrarían concentraciones superiores a las detectadas en su estudio.

Para el humedal centro, de marzo a abril se reportan valores para endosulfán I desde no detectado hasta $6.9 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$ y para endosulfán II solamente se encontró en la estación 13 del mes de mayo con una concentración de $2.51 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$. Durante el resto de la temporada de lluvias no se detectaron concentraciones de endosulfán I y II.

El humedal sur se presentó endosulfán I únicamente en la estación uno del mes de marzo una concentración de $4 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$, mientras que endosulfán II no fue detectado ni antes ni durante la época de lluvias en alguna estación.

Ambas sustancias rebasan los niveles máximos ya que para endosulfán I y II se establecen valores de 3×10^{-5} a $7 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$ intervalo del cual $2 \times 10^{-4} \text{ mg L}^{-1}$ es el máximo para aguas dulces.

pp-DDT

Este compuesto, como todos los demás plaguicidas organoclorados, son sustancias muy estables que se biodegradan lentamente (Cremllyn, 1995). Muchas especies de animales metabolizan el DDT por eliminación de HCl, formando así un compuesto producto, denominado DDE. Desgraciadamente esta sustancia es prácticamente no degradable biológicamente y es muy soluble en grasas, con lo que permanece en el cuerpo de los organismos durante mucho tiempo (Baird, 2001).

Cebrián (1996), Torres y Bandala, (1999), han evaluado la presencia del DDT en los ecosistemas mexicanos, estos estudios reportan la existencia de varias especies de fauna mexicana que fueron afectadas por la exposición al DDT y sus metabolitos, entre las que se encuentran especies de patos, buitres, pájaros y palomas.

La persistencia de este compuesto no solo se remite a su gran afinidad por las grasas sino por otro lado a la interacción en el medio ambiente como por ejemplo, los suelos. Un estudio hecho en Nairobi, Kenia (2001), reveló que la fuerte retención de agua por el suelo está íntimamente ligada con la velocidad de degradación del DDT, así en las zonas costeras es común encontrar en altas concentraciones el metabolito DDE en tanto que en las zonas de inundación, se encuentra en menor concentración contrario a las que se encuentran de DDT (Kiflom, *et al.* 2001).

En el humedal centro y sur se encontraron para el mes de abril exclusivamente en la estación seis, concentraciones 1.945×10^{-2} de mg L^{-1} y 1.262×10^{-1} respectivamente. El resto de las estaciones no mostró la presencia de este compuesto. Para ambos cuerpos acuáticos las concentraciones rebasan tanto los límites establecidos para agua potable como para aguas dulces ($1 \times 10^{-3} \text{ mg L}^{-1}$).

En la preparación de referencia no se incluye la presencia de metabolitos propios del DDT (DDE y DDD), por lo que se ignora si la escasa presencia de DDT en ambos humedales se debe a la transformación en los subproductos ya mencionados.

Se sabe que los aportes de plaguicidas organoclorados al agua provienen del lavado de tierras, por ello es importante frenar el problema como lo proponen en su trabajo realizado con suelos agrícolas de un municipio en el estado de Tlaxcala antes y después de ser tratados con DDT y biorremediados con la bacteria *Pseudomonas putida* y la lombriz de tierra *Eisenia foetida*, organismos con los cuales obtuvieron buenos resultados al encontrar menores concentraciones de este plaguicida después de haber sido aplicado en un periodo de 90 días sobre las hectáreas tratadas en un campo agrícola (Hernández *et al.*, 2006).

DIBUTILENCLORENDATO

Pese a que este compuesto fue encontrado en el humedal centro y sur, no existe un parámetro de comparación que permita establecer si este compuesto rebasa los niveles permisibles en CE-CCA-001/89. De hecho, no existen referencias acerca de este compuesto en la literatura ni informes por parte de las normas internacionales como EPA, que den información acerca de este plaguicida. De cualquier forma, cabe destacar que en el humedal centro para los meses de marzo a abril, se encontraron concentraciones del compuesto en el orden de no detectado a $3.59 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$, mientras que de mayo a septiembre los valores variaron de no detectado a 5.57×10^{-2} . En el humedal sur, su concentración en la estación dos del mes de abril fue de $9.72 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$ y en la estación seis correspondiente a septiembre, la concentración fue de $7.43 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$.

METOXICLORO

Según Cremllyn (1995), el insecticida organoclorado metoxicloro aparentemente no se acumula en las grasas ya que, a diferencia de los compuestos organoclorados, se biodegrada por medio de la demetilación oxidativa. Por tanto, el uso del metoxicloro probablemente no resultará en una contaminación ambiental a largo plazo, por ello el uso de este compuesto en nuestro país es de uso restringido.

Para el humedal centro, las concentraciones obtenidas detectadas en la época anterior a lluvias (estaciones uno a siete) fue desde no detectado hasta $1.086 \times 10^{-1} \text{ mg L}^{-1}$ en tanto que durante la época de lluvias oscilaron desde no detectadas hasta $9.001 \times 10^{-1} \text{ mg L}^{-1}$.

En el humedal sur, solo se detectaron las concentraciones respectivas al mes de septiembre (estaciones seis a ocho), entre 1.322×10^{-1} a 4.2122 mg L^{-1} .

Según se aprecia en los niveles máximos establecidos en CE-CCA-001/89, la concentración máxima para agua potable es de 0.03 mg L^{-1} , por lo que ninguna concentración arrojada por las muestras sustraídas de los humedales, rebasan el límite propuesto.

ENDRIN ALDEHIDO

En el caso de endrín aldehído no fue encontrado en ninguna de las estaciones monitoreadas para los tres humedales y tampoco está reportado por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. La presencia los plaguicidas detectados en los humedales, básicamente se deben a las propiedades que cada uno de ellos tiene (ver anexo 13.2), con respecto a su persistencia ambiental debida a anteriores aplicaciones por lo que se infiere que se han acumulado a lo largo del tiempo y también a que pueden existir recientes aplicaciones en el lugar. No hay que dejar a un lado los procesos naturales que en el ambiente se llevan a cabo, como lo son el transporte por el viento al rociarse estas sustancias y su precipitación gracias a las lluvias, lo cual hace posible la presencia de dichos compuestos en los humedales y al mismo tiempo referir que ello implica un problema grave de contaminación para la población expuesta así como para la fauna de estos sitios.

Si bien es cierto que el estudio realizado para el agua contenida en las ciénegas, muestra que algunos de los plaguicidas tratados en este trabajo no rebasaron los niveles máximos permisibles y aún los que si los rebasaron, es necesario ampliar el estudio, es decir, determinar la presencia de estas sustancias en fauna, en suelo o en sedimento, este último representa un gran banco de datos para conocer la historia de contaminación en un sistema lacustre, pues entre sus

capas se registran los contaminantes provenientes de la atmósfera y de la cuenca de drenaje ya que la gran afinidad de los contaminantes por el material particulado fino , permite que estos puedan ser registrados en la columna de sedimento (Barral, *et al.* 2001).

Discusión sobre la importancia de la preservación de los humedales

México posee aproximadamente el 0.6% de los humedales de todo el mundo, es decir aproximadamente 3 318 500 Ha de humedales de un total de 557 millones de Ha de humedales en el mundo (Olmsted, 1993, citado en Abarca y Cervantes, 1996).

En las referencias consultadas, se encontraron múltiples definiciones sobre el concepto de humedal. Algunos opinan que no es más que un área donde se reúne tierra y agua, pero la definición internacional usada por la Convención Ramsar, define a un humedal como “aquellas áreas de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen artificial o natural, permanentes o temporales, con agua estancada o corriente, dulce, salobre o salada, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros” (<http://www.ramsar.org/about_infopack_1s.htm>).

Pero y ¿qué hay de su importancia?. Los autores Abarca y Cervantes (1996), abordan en el Manual para el Manejo y la Conservación de Humedales en México, algunas de las perspectivas que hacen de los humedales, sitios con múltiples beneficios no solo desde el aspecto económico sino también en un sentido de funcionalidad y valor subjetivo. A continuación se da una breve descripción acerca de la importancia de los humedales:

*Son los riñones de la tierra porque filtran y absorben sustancias contaminantes, mediante ciclos químicos e hidrológicos.

* Evitan inundaciones y recargan los mantos acuíferos subterráneos.

* Representan un soporte de gran variedad de flora y fauna silvestres, tales como aves migratorias y peces de importancia comercial.

* Permiten el intercambio genético

* Hábitat de especies endémicas y migratorias

* Belleza paisajista

* Dan sustento a 1/3 de las especies raras a nivel mundial y en peligro de extinción.

* Contribuyen a la estabilidad climática local.

* Aprovechamiento de los recursos por parte de las poblaciones aledañas a los humedales, etc, etc, etc.

El listado de servicios ambientales que de los humedales podemos obtener es bastante extenso, pero aterrizando estos beneficios al caso de las Ciénegas del Lerma, es necesario abordar lo observado durante el trabajo de campo realizado en esta zona.

Coincidiendo con el trabajo realizado por Mariaca *et al.* (2005), durante el recorrido a lo largo de los tres humedales se observó que estos sistemas tienen un gran deterioro debido a la presencia de basureros clandestinos, circundantes a las ciénegas y por la interacción de canales que conectan con el Río Lerma que es un sistema altamente contaminado. Por otra parte, a ésta zona, arriban aves

procedentes del norte de nuestro continente para reproducirse y anidar sin embargo; estas especies son cazadas sin respetar las épocas de veda y si también aunamos la presencia de contaminantes tales como los plaguicidas, mismos que se bioconcentran, bioacumulan y biomagnifican a lo largo de la cadena trófica, se corre el riesgo de perder la visita de estas especies y con ello la posibilidad de observarlas. Mariaca *et al.*, también refieren en su trabajo que las aves acuáticas son aprovechadas en guisos durante todo el tiempo, aumentando su consumo de agosto a marzo, cuando aparecen especies temporales.

La ausencia de vegetación en ciertas áreas de esta zona, sustituidas por sitios de pastoreo, vivienda o cultivo ha provocado la erosión del suelo, aumentando así la contribución de material edáfico a los cuerpos acuáticos.

Algunas de las actividades económicas tradicionales a las cuales se dedican los pobladores aledaños a las ciénegas son: la agricultura, la ganadería, la elaboración de muebles de madera así como artesanías producto del aprovechamiento del tular para la elaboración de artesanías, aprovechamiento de vegetales acuáticos tales como el berro de agua y el mamalacote, éste último caracterizado por tratarse de una planta cuya raíz es comestible.

También refieren los autores que la medicina tradicional es característica en la zona, ya que se aprovecha el lodo de las ciénegas para la curación de ampoyas o quemaduras, la lentejilla (planta que crece a las márgenes de las ciénegas) para la diarrea y el anfibio denominado ajolote (*Ambystoma mexicana*) para “el pulmón” y el ajolote “sordo” (*Ambystoma lermanensis*) para niños que están “éticos”, que es un tipo de anemia.

Como se puede ver las Ciénegas de Lerma, son ampliamente aprovechadas por los pobladores de esta zona gracias a los servicios ambientales que de ellas se

pueden obtener. Básicamente el problema que aquí persiste, es la falta de educación ambiental, producto de la ausencia de un plan de manejo en la zona.

Considerando la diversidad de tipos de humedales en México, así como las diferentes necesidades de conservación y problemática que presentan cada uno de ellos, es necesario identificar y desarrollar acciones de conservación inmediatas en aquellos humedales calificados como prioritarios en nuestro país.

En una conversación personal, con la M. en C. Nora Esquivel, subdirectora de Sistemas de Información Geográfica del Instituto Nacional de Ecología, coincidimos que a nivel nacional, existen muchos trabajos referidos a humedales costeros, sin embargo; hay poca información relacionada con humedales continentales y tal es el caso de las Ciénegas del Lerma, pues de hecho y pese a que existe un decreto que la cataloga como un humedal de importancia internacional, la literatura aún reporta esta zona como área de inundación y en consecuencia existen pocos datos que aborden la caracterización morfométrica de estos humedales. En este sentido también es importante actualizar la información disponible no solo para las Ciénegas de Lerma, sino para otros humedales carentes de un plan de manejo en nuestro país.

10.- RECOMENDACIONES

Es necesario frenar el uso de compuestos plaguicidas sintéticos y optar por otros medios menos agresivos al ambiente y más eficaces contra las plagas. Existen algunas vías alternas para el control de plagas mediante métodos naturales, tal es el caso del Control Integrado de Plagas propuesto por la entonces SEMARNAP en 1996, comprendido en la Serie de Plaguicidas No. 1 del manual “Lo que usted debe saber sobre plaguicidas”. Este control integrado de plagas se define como un sistema para combatir las plagas que, en el contexto del ambiente asociado y la dinámica de poblaciones de especies de las mismas, utiliza todas las técnicas y métodos adecuados de la forma más compatible y mantiene las poblaciones de éstas por debajo de los niveles en que se producen pérdidas o perjuicios económicos. Algunas de las estrategias y técnicas empleadas al respecto son:

* Métodos culturales (prácticas agronómicas)

- ▶ Uso de variedades resistentes
- ▶ Rotación de cultivos
- ▶ Destrucción de residuos de cosecha
- ▶ Arado y rastreo
- ▶ Manejo de las fechas de siembra y cosecha
- ▶ Aclareo de plantas y poda sanitaria
- ▶ Fertilización
- ▶ Sanidad general
- ▶ Manejo del riego
- ▶ Cultivos trampa
- ▶ Sobrepastoreo

* Métodos mecánicos

- ▶ Colecta y destrucción manual
- ▶ Uso de barreras de exclusión
- ▶ Trampas y equipos colectores

-
- ▶ Destrucción mecánica
 - * Métodos físicos
 - ▶ Calor, frío, control de humedad
 - ▶ Ultrasonido
 - ▶ Trampas electrizadas y manipulación de luz
 - * Control biológico
 - ▶ Protección de las poblaciones de enemigos naturales y estímulo a su multiplicación.
 - ▶ Reproducción artificial de enemigos naturales nativos o introducidos.
 - ▶ Propagación artificial de organismos patógenos específicos.
 - * Control químico
 - ▶ Atrayentes o repelentes.
 - ▶ Quimioesterilizantes
 - ▶ Reguladores del desarrollo (hormonas sintéticas y análogos).
 - ▶ Insecticidas convencionales y no convencionales.
 - ▶ Técnicas de confusión sexual (feromonas)
 - * Métodos genéticos
 - ▶ Técnica de organismo estéril
 - ▶ Incompatibilidad genética interespecífica o intraespecífica
 - * Control legal
 - ▶ Cuarentenas interiores y exteriores
 - ▶ Obligatoriedad de prácticas agronómicas

Por otro lado, el Instituto Nacional de Ecología en conjunto con SEMARNAT, publicó en el 2001 un tríptico denominado “Alternativas para el control de termitas”. La información proporcionada en este documento, propone dentro del marco del manejo integrado de plagas el uso de controles biológicos como a continuación se describe:

Control con bacterias: *Bacillus thuringiensis* es una bacteria que al ser ingerida provoca efectos en las partes bucales y el intestino de las termitas paralizando sus

órganos y ocasionando la muerte del insecto en el lapso de unas horas a tres semanas. Esta bacteria es efectiva solo cuando la termita la ingiere. No provoca daños en abejas, vertebrados, mamíferos y humanos, aún en altas dosis.

Control con hongos: *Metarhizium anisopliae* es un hongo que provoca la obstrucción del paso del aire, además de sintetizar una sustancia que es un veneno para las termitas. *Beauveria bassiana* es otro hongo que tiene los mismos efectos que la bacteria *Bacillus thuringiensis* y no representa peligro para los humanos ni al ambiente, aún en altas dosis.

Barreras físicas: Como las mallas de acero inoxidable y las barreras de arena en la prevención y control de las termitas subterráneas, estas se instalan antes de la construcción.

Cebos: Los nemátodos de cebo, aprovechan la naturaleza social y la conducta alimenticia de las termitas subterráneas. Las termitas trabajadoras ingieren el cebo mezclado con algún bioplaguicida y lo comparten con el resto de la colonia, lo cual provoca la muerte lenta de la misma, hasta su eventual eliminación.

11.- CONCLUSIONES

- El Área Natural Protegida Ciénegas del Lerma representan una zona de importancia internacional debido a la riqueza de ecosistemas que sustenta así como por la flora y fauna endémica que poseen, los servicios ambientales y beneficios económicos obtenidos a partir de ellas.
- Los plaguicidas determinados en este trabajo están incluidos en la categoría de uso prohibido y restringido según CICOPRAFEST.
- Comparando los resultados de plaguicidas detectados y sus concentraciones para cada humedal con respecto a los resultados obtenidos en el estudio realizado por Mariaca *et al.* 2005, el humedal más contaminado fue el centro o Chimaloapan, seguido del humedal sur o Chiconahuapan y finalmente el norte o Chignahuapan.
- Como se puede observar tanto en las tablas, los cromatogramas y en las gráficas, dentro de los plaguicidas organoclorados presentes en las muestras, el heptacloro y el lindano fueron los plaguicidas más frecuentes en los tres humedales.
- La mayoría de los plaguicidas detectados rebasaron al menos uno de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua establecidos por SEDUE en la CE-CCA -001/89 y cuyo uso está prohibido en nuestro país.
- Urge el desarrollo de una plan de manejo para las Ciénegas de Lerma que contemple el aprovechamiento sustentable de los recursos obtenidos de las ciénegas, mediante la aplicación de instrumentos propios de la educación ambiental.

- La sensibilización cultural, emocional y ecológica entre los habitantes de estas zonas, puede ser uno de los aspectos manejados en la educación ambiental para la conservación de estos humedales.

- Este estudio no debe considerarse como un producto final y parcial para las Ciénegas del Lerma sino como parte de una evaluación y monitoreos constantes llevadas a cabo en suelo y sedimento de las ciénegas, así como en la fauna encontrada en la zona, con la finalidad de vigilar la presencia de estas sustancias.

- Los humedales representan un patrimonio nacional e internacional dignos de considerarse con respeto y admiración más allá de los beneficios que de ellos se puedan obtener, pues a largo plazo la valoración netamente económica desembocará en un abuso excesivo y poco redituable para quienes se sustenten de ellos.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, F. J y Cervantes, A. M. 1996. Manual para el Manejo y la Conservación de Humedales en México. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP. Subprograma de Capacitación. Programa Nacional de Zonas Húmedas. México.
- Aguilar, S.A.; Arevalo G.G. y Torres E.A. 1997. Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Lerma. Tomo III. Gobierno del Estado de México. México.
- Albert, L. A. 1986. Plaguicidas, Salud y Ambiente. Memorias de los talleres de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. México.
- Arriaga, C. L; Aguilar, S. V. y Alcocer, D. J. 2000. Aguas continentales y diversidad biológica de México. CONABIO. México.
- Andrews, G.1995. Pesticides Residues in Food/ Technologies for Detection. Technomic Publishing Co., Inc. E.U.
- Antón, D. y Díaz, D.C. 2004. Sequía en un mundo de agua. Cira. México.
- Allaby, M. 1998. Dictionary of ecology. Oxford University Press. E.U.
- Ávalos, M. y Ramírez J.(2003). La situación del lindano en México. *Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT*, (69): 94-101.
- Baird, C. 2001. Química ambiental. Reverté S.A. España

-
- Barral, R., Pozo, K., Urrutia, R., Cisternas, M., Pacheco, P. y Focardi, S. 2001. Plaguicidas organoclorados persistentes en sedimentos de tres lagos costeros y un lago andino de Chile Central. Boletín de la Sociedad Chilena de Química. 43: 201. Chile.

 - Best, A. G. y Dawson, P. 1993. Environmental analysis using gas chromatography. Gas chromatography. Edited P.J. Baugh. Oxford University Press. New Cork.

 - Bruckers, D. 1998. Effects of environmental synthetic chemicals. Journal of toxicology and environmental health. E.U.

 - Cebrián, A., Porra, B. y Quintanilla, B. (1996). Evaluación de riesgos a la salud derivados de la contaminación del agua en las cuencas de cuatro ríos de la República Mexicana. Departamento de Farmacología y Toxicología. CINVESTAV, IPN. México

 - Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas, CICOPLAFEST. 1994. Catálogo Oficial de Plaguicidas. México.

 - CONACyT-SEMARNAT, (2005). Inventario y caracterización de las descargas que afectan la salud de los ecosistemas del delta del Río Colorado. Resumen del Proyecto CONACYT-SEMARNAT –C01-0033-2002. México.

 - Cortinas, C. 1998. Introducción a la gestión de sustancias químicas que se encuentran en el comercio. *Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT*, (46): 27-45.

-
- Cortinas, C. 1998. Manejo de plaguicidas químicos: tendencias mundiales. *Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT*, (48): 62-66.

 - Cremlyn, R. 1995. Plaguicidas modernos y su acción bioquímica. Limusa-Noriega Editores. México.

 - Dirección General de Normas, DGN. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-71-1981, Análisis de Agua para Determinación de Plaguicidas Organoclorados mediante el Método de Cromatografía de Gases. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.

 - Environmental Protection Agency. EPA. 1995. METHOD 508- Determination of chlorinated pesticides in water by gas chromatography with an electron capture detector. Environmental Protection Agency. E. U.

 - FAO. 1991. Pesticides Residues in Food/Technologies for detection . Technomic Publishing Co. Inc. E.U.

 - Gaceta Ecológica. 1990. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89). SEDUE

 - Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT (2004). La Cuenca Lerma-Chapala. INE-SEMARNAT. (71): 11-91.

 - García, M; Toalá, D. 1995. Evaluación de la contaminación de residuos de plaguicidas organoclorados en el cultivo de Melón (*Cucumis melo L.*), en localidades de la Comarca Lagunera. Universidad Autónoma de Coahuila. (5):304-308.

-
- Gitahi, S.M; Harper, D.M; Muchiri, S.M; Tole, M.P y Ng' ang' a, R. 2002. Organochlorine and organophosphorus pesticide concentrations in water, sediments and selected organisms in Lake Nivasha (Kenya). *Hidrobiología*. (488): 123-128.

 - Hawley, G. C. 1974. Diccionario de química y de productos químicos. Ediciones Omega S.A. España.

 - Hernández, F; Roldán, A; Cruz, R. (2006). Evaluación de la toxicidad de un suelo contaminado con plaguicidas organoclorados antes y después del tratamiento de biolabranza. Mesa: Sitios Contaminados. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Jalisco, México.

 - Herzig, S. M. 1996. *Asociaciones Biológicas en Humedales*. Manual para el Manejo y Conservación de los Humedales en México. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP. Subprograma de Capacitación. Programa Nacional de Zonas Húmedas. 1-21. México.

 - INAFED. 2000. Enciclopedia del Estado de México. Gob. Del Edo. de Méx. 30 de marzo de 2005. < http://www.edomexico.gob.mx/r_edomex/regiones.asp>

 - INE-SEMARNAT. 2001. "Alternativas para el control de termitas". INE-SEMARNAT. México.

 - Jiménez, C. B. 2002. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa /Noriega Editores. México.

-
- Kiflom, W.G; Wandiga, S.O; Kamau, G.N. 2001. Status of organochlorine (DDT) pollutants and steps toward electrocatalytic reductions. *Pure Applied Chemistry* (73): 1907-1916.

 - Mariaca, M. E., Valdivia, A. J y Cárdenas, O. J.2005. Evaluación del grado de contaminación para realizar pruebas de biodegradabilidad aeróbica rápida en las Ciénegas del Lerma, Estado de México. Tesis: Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. D.F. México.

 - Mata, L. R. 1999. Helmintos de la sorda *Ambystoma lermanensis* de San Pedro Tlaltizapan. Tesis: Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM. D.F. México.

 - NMX-AA-003-1980. “Aguas residuales-muestreo”. [http:// www.economia-noms.gob.mx/](http://www.economia-noms.gob.mx/).

 - NOM-AA-014-1980. “Cuerpos receptores-muestreo”. [http:// www.economia-noms.gob.mx/](http://www.economia-noms.gob.mx/).

 - OMS. 1990. Plaguicidas organoclorados. Serie Vigilancia No. 9. Organización Mundial de la Salud. México.

 - OMS. 1993. Guía para la salud y la seguridad/ Cuadernos No. 13. Organización Mundial de la Salud. México.

 - OMS. 1993. Guía para la salud y la seguridad/ Cuadernos No. 14. Organización Mundial de la Salud. México.

 - OMS. 1995. Guía para la salud y la seguridad/Cuaderno No. 17. Organización Mundial de la Salud. México.

-
- OMS. 1996. Guía para la salud y la seguridad/Cuaderno No. 21. Organización Mundial de la Salud. México.

 - OMS. 1993. Guía para la salud y la seguridad/ Cuadernos No. 40. Organización Mundial de la Salud. México.

 - OMS. 1993. Guía para la salud y la seguridad/ Cuadernos No. 60. Organización Mundial de la Salud. México.

 - OMS. 2005. Clasificación toxicológica de los plaguicidas. Organización Mundial de la Salud. México.

 - Pacheco, R. D. 2004. Determinación de plaguicidas organoclorados y validación de lindano en agua potable por cromatografía de gases de alta resolución. Tesis: Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. D.F. México

 - Peña, M. V. 2000. Atlas Ecológico de la Cuenca del Río Lerma. Industrias. Tomo V. UAEM. México.

 - Poder Ejecutivo.1989. Acuerdo por el cual se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación. Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología.

 - Poder Ejecutivo. 2002. Decreto por el cual se establece el área denominada Ciénegas del Lerma como Área Natural Protegida con carácter de Protección de Flora y Fauna. Diario Oficial de la Federación [en línea]. 27 Nov.2002.[citado 06 febrero2005]<<http://conanp.gob.mx/sig/decretos/apff/cienegas%20del%20Lerma%2027nov02.pdf>>

-
- Poder ejecutivo. 2003. Legislación de ecología. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. SISTA. México.
 - Primo, Y. E. 1991. Ecología química: nuevos métodos de lucha contra insectos. Ediciones Mundi-Prensa: Banco de crédito y ahorro. España.
 - Ramade, F. 1997. Elementos de ecología aplicada. Ediciones Mundi-Prensa. España.
 - Ramos, V. L. 1999. Estudio de la flora y la vegetación acuática vascular de la cuenca alta del Río Lerma, Estado de México. Tesis: Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM. D.F. México
 - Ramsar. 2001. Carpeta informativa Ramsar, ¿Qué son los humedales?. Documento Informativo Ramsar N0.1.[en línea] 9 de junio de 2001. <http://www.ramsar.org/about_infopack_1s.htm>
 - Ramsar. 2004. Comunicado de prensa, Día Mundial de los Humedales 2004-México. México protege 5.000.000 ha de humedales. [en línea] 13 de mayo de 2005. http://www.ramsar.org/wwd2004_rpt_mexico1bis.htm
 - Rzedowzky, J. y Huerta, M. L. 1978. Vegetación de México. Limusa. México
 - SEMARNAP. 1996. Serie Plaguicidas 1- Lo que usted debe saber sobre los plaguicidas. SEMARNAP. México.
 - Seoanez, C. M. 1996. El gran diccionario del medio ambiente y de la contaminación. Mundi-Prensa. España.

-
- Skoog, D.A. 2001. Principios de análisis instrumental. Quinta edición. Mc. Graw-Hill. España.
 - Smith, J. E. Jr. y Helmick, J. 1993. Guía para el tratamiento y la disposición de pequeñas cantidades de desechos de plaguicidas. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Programa de salud ambiental. Organización panamericana de la salud. OMS. Metepec, Estado de México. México.

 - Storch, G.A.J. 1975. Fundamentos de la cromatografía de gases. Segunda edición. Alambra. España.

 - Urbietta, F. E.; López, M. V. 2004. Determinación de plaguicidas organoclorados en la presa El Manantial y el Río Papalotes. Tesis: Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. D.F. México.

 - Vazquez, B. A., Paez, O. F. 1987. *El problema crucial: la contaminación*. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. 1ª edición. Vol. 1. México.

 - Yarto, M., Gavilán, A. y Barrera J. 2003. El convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes y sus implicaciones para México. *Gaceta Ecológica INE-SEMARNAT*, (69): 8-29.

 - <http://www.ace.orst.edu/info/extoxnet/pips/lindane.htm>

 - <http://www.biociencias.org.mx>

 - <http://www.salud.gob.mx>
 - <http://www.conanp.gob.mx>

 - <http://www.cpnlac.org.mx>

▣ <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15051a.htm>

13. ANEXOS

13.1 Glosario

Agua Residual: Todos aquellos líquidos cuya composición sea variada debido a las descargas de uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario, doméstico y en general a cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Bioacumulación: Acumulación o depósito de una sustancia por un organismo vivo. El fenómeno tiende a darse con mayor intensidad según se ascienda de nivel en una cadena trófica (Seoanez, 1996).

Biomagnificación: Incremento en la concentración de una sustancia químicamente estable en productos comestibles que en casos extremos puede causar un trastorno físico en los organismos vivos (Allaby, 1998).

Biotransformación: Cambios que sufren las sustancias dentro del organismo en su estructura molecular transformándose en nuevos compuestos con propiedades toxicológicas generalmente diferentes (NOM-047-SSA-1993).

Cadena trófica: Conjunto de relaciones nutritivas entre distintos niveles tróficos de un ecosistema (Seoanez, 1996).

Ciénega: Terreno cuya capa de agua superficial aflora en las depresiones del suelo (Seoanez, 1996).

Contaminación: Alteración de alguno de los elementos necesarios para la vida, tierra, agua o aire o perturbación de los seres vivos que se origina como consecuencia de dicha alteración (Seoanez, 1996).

Control Biológico: Método mediante el cual se pueden disminuir las poblaciones de una plaga sin utilizar métodos químicos, empleando otros insectos, algunos hongos, bacterias o nemátodos, es seguro porque no representa daños al ambiente ni al ser humano (INE-SEMARNAT, 2001).

Cromatografía: Separación de mezclas de sus constituyentes por la absorción preferencial y una elusión desde un soporte sólido (FAO, 1991).

Degradación: Descomposición de sustancias de alto peso molecular por acción del oxígeno, luz, calor o bacterias (Seoanez, 1996).

Desinfestación: Eliminación de microorganismos encontrados en la superficie de un organismo vivo (Barba, 2001).

Ectoparásito: Parásito externo (pulgas, piojos, garrapatas, etc.) (Seoanez, 1996).

Elusión: Remoción de un material absorbido de un adsorbente por medio de un solvente (FAO, 1991).

Fitosanitario: Producto destinado a la protección de los vegetales (Seoanez, 1996).

Fungicida: Plaguicida específico para hongos (Seoanez, 1996).

Gas portador o acarreador: Sustancia gaseosa inerte en la cual otra sustancia será transportada para su análisis vaporizándola (FAO, 1991).

Hábitat: Área de distribución de una especie, que reúne las condiciones necesarias para la vida de una especie (Seoanez, 1996).

Hidrólisis: Reacción química en la que el agua actúa sobre otra sustancia para formar una o más sustancias enteramente nuevas (Seoanez, 1996).

Intoxicación: Trastorno producido accidentalmente o voluntariamente a dosis altas de una sustancia química.

Isómeros: 1) Moléculas que tienen el mismo número y clase de átomos, aunque difieren en su estructura. 2) Núclidos con los mismos números atómicos y de masa, aunque existen diferentes estados de energía (Seoanez, 1996).

Liposolubilidad: Sustancia soluble en una grasa.

Manto freático: Capa acuífera o masa de agua contenida en una formación permeable.

Metabolito: Sustancia producida por el metabolismo de un compuesto químico (Baird,2001).

Pediculosis: Presencia de ectoparásitos (piojos) en el cuero cabelludo.

Persistencia: Tiempo que permanece un plaguicida en el ambiente manteniendo su actividad biológica.

pH: Logaritmo base 10 que indica el recíproco de la concentración de iones hidronio (Seoanez, 1996).

Piroclástico: Material procedente de un volcán.

Polimerización: Reacción química en la que dos o más moléculas sencillas se combinan para formar una macromolécula en forma de cadena (Seoanez, 1996).

Silvicultura: Ciencia que se dedica a la conservación, uso y aprovechamiento de los bosques.

Teratógeno: Agente capaz de producir malformaciones durante el desarrollo embrionario de los animales (Seoanez, 1996).

Tiempo relativo de retención: Tiempo en el que un compuesto es eluído desde una columna cromatográfica tomando como referencia los valores obtenidos de una solución Standard (FAO, 1991).

Tóxico: Se refiere al mecanismo de acción a través del cual la sustancia produce efectos adversos y sus manifestaciones clínicas en el ser humano.

Xenobiótico: Sustancia que no puede ser degradada por un organismo.

13.2 Características de algunos plaguicidas organoclorados

Nombre Común: DDT*

Fórmula química: C₁₄H₆Cl₅

Estructura química:

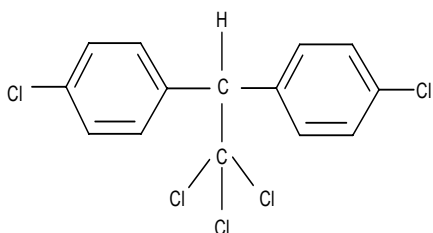


Figura 17.- Estructura molecular del DDT

Peso molecular: 487.58 g/mol

Propiedades físicas y químicas: Sólido insoluble en agua pero soluble en benceno, acetato de etilo, acetona, hexano, dioxano, ciclohexano y otros.

Producción y usos: El DDT o dicloro-difenil-tricloroetano no se produce en la naturaleza. Fue sintetizado por Zeidler y dado a conocer en 1874. Sin embargo, no se utilizó hasta que sus propiedades insecticidas fueron descubiertas por Paul Müller, en 1939. Se empleó por primera vez durante la Segunda Guerra Mundial, para proteger al personal de las zonas militares contra el paludismo, el tifus exantemático y otras enfermedades transmitidas por insectos.

Nombre común: Heptacloro

Fórmula química: $C_{10}H_5Cl_7$

Estructura química:

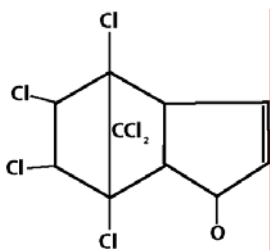


Figura 18.- Estructura molecular del heptacloro

Peso molecular: 373.3 g/mol

Propiedades físicas y química: Es un sólido cristalino blanco con un leve olor a alcanfor, con un punto de fusión de 93 °C (46-74 °C para el producto técnico) y una densidad de 1.65-1.67 g/mL a 25 °C. Tiene un punto de ebullición de 135 a 145 °C y una presión de vapor de 4×10^{-4} mm Hg a 25 °C.

Es virtualmente insoluble en el agua (0.056 mg/L) pero bastante soluble en los solventes orgánicos. Es estable a la luz solar, aire, humedad y en el calor moderado (160 °C) pero se oxida biológicamente a epóxido de heptacloro (Whetstone, 1964 citado en OMS, 1993).

Producción y Usos: El heptacloro fue introducido en los EUA en 1952 por primera vez como un insecticida por contacto para aplicación foliar, del suelo y estructural, así como para el control de la malaria. Es un insecticida no sistémico, estomacal y por contacto. Hoy en día el uso del heptacloro se limita, casi en forma exclusiva, al control de los insectos de la tierra y termitas (OMS, 1993).

Nombre común: Endrín

Fórmula molecular: C₁₂H₈Cl₆O

Estructura química:

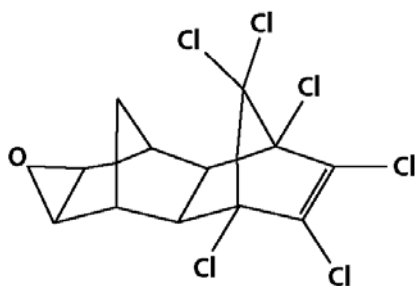


Figura 19.- Estructura molecular del endrín

Peso molecular: 380.9 g/mol

Propiedades Físicas y Químicas: Es un sólido cristalino con un leve olor. El compuesto técnico es estable cuando se almacena a temperatura ambiente; también lo es en las formulaciones que contienen agentes alcalinos, emulsivos, agentes humectantes y solventes. Se descompone con ácidos minerales concentrados, catalizadores ácidos, agentes oxidantes ácidos y metales activos. Cuando se le calienta a más de 200°C, la sustancia forma un compuesto menos tóxico y menos activo desde el punto de vista de los insecticidas, el delta-cetoendrín. Tiene un punto de fusión de 226-230°C aunque por arriba de 200°C se descompone. Insoluble en agua, pero sí en acetona, benceno, tetracloruro de carbono y xileno; apenas soluble en alcohol y moderadamente soluble en hidrocarburos alifáticos.

Usos: Es un veneno de contacto y estomacal, utilizado como insecticida foliar, que actúa contra una amplia gama de plagas, en particular contra los lepidópteros.

Puede ser empleado en concentraciones de 0.2-0.5 Kg a.i./ha en algodón, maíz, caña de azúcar, arroz de altura, y muchos otros cultivos (OMS,1993).

Nombre común: Endosulfán

Fórmula molecular: C₉H₆Cl₆O₃S

Estructura química:

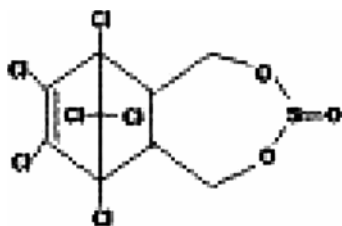


Figura 20.-Estructura molecular del endosulfán

Peso molecular: 406.9 g/mol

Propiedades físicas y químicas: Es una sustancia cristalina parda que consiste de isómeros alfa y beta en una proporción aproximada de 70:30. su pureza es del 94 al 96 %. El endosulfán de grado puro es un sólido cristalino incoloro. Su solubilidad en agua es baja, inferior a 0.5 mg/L a 20 °C, pero aumenta al disminuir el pH. Su solubilidad en otros disolventes varía de 5 a 65%.

El endosulfán técnico suele venderse en forma de hojuelas cristalinas pardas con un leve olor a bióxido de azufre. Es estable a la luz solar, sensible a la humedad, inestable en medios alcalinos y está sujeto a una lenta hidrólisis.

Usos: La sustancia se utiliza en preparaciones como insecticida no sistémico de contacto y estomacal, principalmente en la agricultura, en el control de la mosca

tse-tse, así como en el de las plagas de jardines caseros. Se usa en cultivo de algodón, tabaco y alimenticios como frutas, vegetales, cereales, semillas oleaginosas, tubérculos, té y café (OMS, 1995).

Nombre común: Aldrín

Fórmula química: C₁₂H₈Cl₆

Estructura química:

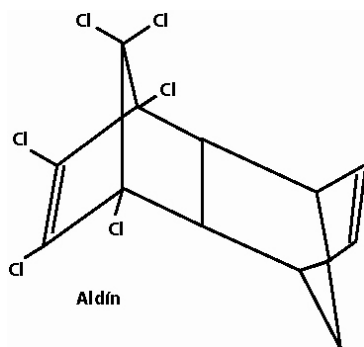


Figura 21.- Estructura molecular del aldrín

Peso molecular: 364.9 g/ mol

Propiedades físicas y químicas: En su estado puro es un polvo blanco con un leve olor a sustancia química y el comercial de menor impureza tiene color canela. No se encuentra en estado natural en el ambiente y se degrada rápidamente por oxidación a dieldrín. Es muy soluble en solventes orgánicos e insoluble en agua.

Usos: Desde los años 50's hasta los 70's se utilizó ampliamente como pesticida en cosechas, tales como maíz y algodón. Debido a preocupaciones acerca del daño al

ambiente y sobre la salud pública, la EPA prohibió su uso en 1974, excepto para controlar termitas. En 1987, la EPA lo prohibió completamente.

Nombre común: Dieldrín

Fórmula química: $C_{12}H_8Cl_6$

Estructura química:

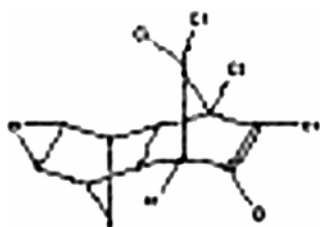


Figura 22.- Estructura molecular del dieldrín

Propiedades físicas y químicas: En su estado puro es un polvo blanco con leve olor a sustancia química y en su estado comercial es de menor pureza y tiene color canela. Es un insecticida con estructura química similar al aldrín. Prácticamente insoluble en agua y moderadamente soluble en solventes orgánicos comunes excepto en metanol.

Producción y usos: El dieldrín se elabora comercialmente desde 1950 y es usado alrededor del mundo hasta el inicio de la década de los setentas. Actúa como veneno estomacal y por contacto para insectos y ha sido usado como insecticida en la agricultura para el control de muchas plagas y en el tratamiento de semillas. Los insectos controlados por este compuesto incluyen termitas, saltamontes, insectos que invaden madera, escarabajos y plagas textiles. El dieldrín también se usa en salud pública para el control de la mosca tse-tse y de otros vectores de enfermedades tropicales debilitantes (OMS, 1996).

Nombre Común: Metoxicloro

Fórmula química: $\text{Cl}_3\text{CCH}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OCH}_3)_2$

Estructura química:

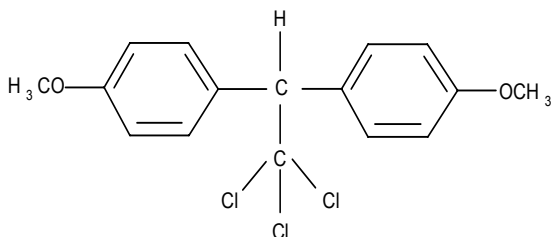


Figura 23.- Estructura molecular del metoxicloro

Propiedades físicas y químicas: Sólido cristalino blanco; p.f; 89° C; insoluble en agua. No compatible con materiales alcalinos. Moderadamente tóxico, menos tóxico que el DDT. La tolerancia en el aire es de hasta 15 mg/m³.

Usos: Insecticida utilizado en el combate de larvas de mosquito y en las moscas domésticas, se emplea frecuentemente en las granjas lecheras (Hawley, 1975).

Nombre Común: Lindano (Ávalos y Ramírez, 2003).

Fórmula química: $\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$

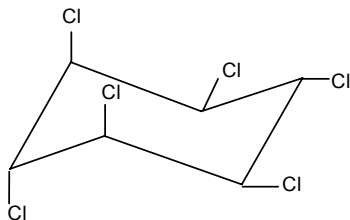


Figura 24- Estructura molecular del lindano

Peso molecular: 290.83 g/mol

Propiedades físicas y químicas: Es un sólido blanco cristalino, estable con la luz, calor, aire, bióxido de carbono y ácidos fuertes. Su punto de fusión es de 112.5 °C; punto de ebullición de 323.4 °C y una presión de vapor de 3.83×10^{-3} Pa. La solubilidad en el agua es de 2.57×10^{-2} mol/m³.

Usos: Desde 1950 dio inicio el uso masivo del lindano como insecticida agrícolas, pecuarios e inclusive de la salud humana para el combate de la pediculosis.

13.3 Cromatografía de gases

La cromatografía de gases es una técnica analítica utilizada en la separación, identificación y medida de los componentes de una mezcla. Se basa en la diferencia de velocidades de migración de los componentes de una mezcla volatilizados, al ser arrastrados por un gas inerte de un tubo relleno de un material adecuado (Skoog, 2001). En muchos de los casos esta técnica permite separar en una sola operación más de 100 componentes procedentes de una mezcla.

La técnica incluye una fase móvil integrada por la mezcla a resolver y, en la mayoría de los casos, por un gas no retenible o inerte para llevar en sí o para empujar la mezcla y los componentes durante la separación. Este gas inerte recibe el nombre de portador o acarreador. La fase estacionaria puede ser un sólido o un líquido; para el primer caso, la retención selectiva de los componentes de la mezcla a resolver se debe a fenómenos consecutivos de adsorción y desorción; en el segundo caso un líquido depositado sobre un soporte sólido en cuyo caso los fenómenos son de reparto. El soporte sólido puede ser un relleno de la columna o bien la pared interior del tubo que la forma (Storch, 1975).

La separación de los componentes de la mezcla a resolver en cromatografía de gases se realiza en el tiempo, emergiendo cada componente de la columna por separado. A la salida de la columna cromatográfica se encuentra un dispositivo de análisis o uno de recolección, capaces de realizar funciones respectivas también en el tiempo.

La separación por elusión es la utilizada, aquí el gas portador circula a lo largo de la columna de un modo continuo durante la operación. En un momento dado se introduce en la corriente de gas portador una muestra de la mezcla a resolver en estado de vapor. El gas portador arrastra a los componentes a lo largo de la

columna, donde se producen de forma paulatina y sucesiva, los procesos de retención y liberación de los componentes a distintas velocidades, dependientes del poder de atracción que muestre la fase estacionaria sobre cada uno de los componentes que integren la mezcla. Como resultado de los procesos antedichos, los componentes migran a lo largo de la columna a velocidades diferentes, por lo cual, dado que todos deberán recorrer la misma distancia, que es la longitud de la columna, se realiza su separación a diferentes tiempos dentro de la columna, diferenciados en el mismo.

Los componentes del cromatógrafo de gases utilizados son: fuente de gas portador (Helio), regulador de presión o flujo de gas portador, inyector, columna capilar, horno, detector electrónico.

Seleccionando las condiciones adecuadamente se logra una completa separación entre las moléculas de los componentes. A la salida de la columna, el detector dará una señal indicando la presencia de una sustancia diferente al gas de arrastre, esta señal se transmite al registrador que nos proporciona la información en forma gráfica. El tiempo de análisis varía y puede ser de minutos a horas. El tamaño de la muestra varía también entre unos pocos microlitros (Best y Dawson, 1993).

Los pasos básicos de un método analítico incluye lo siguiente:

Preparación de la muestra: Esto incluye, desde la preparación de los envases donde será recolectada la muestra hasta su procesado por trituración, corte o simplemente separación en partes (como sucede con las plantas, separar el tallo de las hojas, etc.).

Extracción: Implica la remoción del residuo de plaguicida de la muestra y de otros componentes. Es todo proceso en el que una sustancia pasa de una fase sólida a

una fase líquida o de una fase líquida a otra líquida. Los métodos de extracción se emplean para efectuar extracciones preliminares que posteriormente se complementan con el uso de algún otro método. Enfocándonos a la extracción líquido-líquido debido a que se emplea en la técnica para el aislamiento de plaguicidas, dicha extracción consiste en la separación de los constituyentes de una mezcla líquida por contacto con otro líquido inmiscible (parcial o totalmente inmiscible), por lo tanto, no supone cambio de estado físico. Si los componentes de la mezcla original se distribuyen de forma diferenciada entre las dos fases líquidas se produce un cierto grado de separación, que puede acentuarse por la combinación de etapas múltiples, tal como ocurre en la destilación o en la absorción (Pacheco, 2004).

Limpieza (aislamiento y purificación): Significa remover la sustancia de interés (plaguicida), de los constituyentes que interfieren con el análisis (Anónimo).

Determinación-separación: Es la separación de los componentes, es decir, los pesticidas de manera individual de acuerdo a las diferencias de partición entre un sólido (plaguicida), de un solvente no volátil y un líquido o gas acarreador que se mueve a lo largo de una columna (cromatografía gas-líquido) (Anónimo).

Determinación-detección: Es la emisión de una respuesta que mide la cantidad de componentes que se mueven a lo largo de la columna seguida de la detección y cuantificación de cada plaguicida (FAO, 1991).

En cromatografía de gases (GC), la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La fase móvil no interacciona con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través la columna. La cromatografía gas-líquido tiene gran aplicación en todos los campos de la ciencia y su denominación se abrevia como cromatografía de gases (Andrews, 1995).

La cromatografía gas líquido, se basa en la distribución del analito entre una fase móvil gaseosa y una fase líquida inmovilizada sobre la superficie de un sólido inerte (Skoog, 2001).

Instrumentos para la cromatografía Gas-Líquido:

*Gas portador: Entre los gases portadores, que deben ser químicamente inertes, se encuentra el helio, el nitrógeno y el hidrógeno. La elección de los gases está con frecuencia determinada por el tipo de detector que se utiliza. Con el suministro del gas se encuentran asociados los reguladores de presión, manómetros y medidores del caudal. El sistema de gas portador contiene a menudo un tamiz molecular para eliminar el agua u otras impurezas.

*Sistema de inyección de muestra: La eficacia de la columna requiere que la muestra sea de un tamaño adecuado y que sea introducida como un tapón de vapor; la inyección lenta de muestras demasiado grandes provoca un ensanchamiento de las bandas y una pobre resolución. El método más común de inyección de muestra implica el uso de una microjeringa para inyectar una muestra líquida o gaseosa a través de un diafragma o septum de goma de silicona, en una cámara de vaporización instantánea situada en la cabeza de la columna (la cámara de muestra normalmente está unos 50°C por encima del punto de ebullición del componente menos volátil de la muestra). Para las columnas analíticas ordinarias, el tamaño de muestra varía desde unas pocas décimas de microlitro a 20µL.

*Configuración de la columna y del horno para la columna: En cromatografía de gases se usan dos tipos generales de columna, las rellenas y las abiertas o capilares. Las columnas cromatográficas varían desde 2 hasta 50 m de longitud, o más. Están construidas con acero inoxidable, vidrio, sílice fundida o teflón.

La temperatura de la columna es una variable importante que para un trabajo preciso ha de regularse a las décimas de grado, por ello la columna normalmente se introduce dentro de un horno de temperatura controlada . La temperatura óptima de la columna depende del punto de ebullición de la muestra y del grado de separación requerido. En la práctica, con una temperatura igual o ligeramente superior al punto de ebullición promedio de la muestra, se obtienen tiempos de elusión razonables (2 a 30 min). Para muestras cuyos componentes presentan un intervalo de temperatura de ebullición, a menudo es conveniente emplear una programación de temperatura , con lo que se aumenta la temperatura de la columna bien de forma continua o bien por etapas al mismo tiempo que tiene lugar la separación.

En general, la resolución óptima se asocia con una temperatura mínima; en contrapartida la reducción de temperatura produce un aumento en el tiempo de elusión, y por tanto del tiempo que se necesita para completar el análisis.

*Sistemas de detección: Durante el desarrollo de la cromatografía de gases, se han investigado y utilizado docenas de detectores. Es de particular interés aquellos detectores de captura de electrones (ECD). Este ha llegado a ser uno de los más ampliamente utilizados para el análisis de muestras medioambientales , debido a su selectividad para detectar compuestos que contienen halógenos , tal es el caso de los plaguicidas y de los bifenilos policlorados. Este tipo de detector opera casi del mismo modo que un contador proporcional para la medida de rayos X. El efluente de la columna pasa sobre un emisor β normalmente níquel-63. Un electrón del emisor, provoca la ionización del gas portador (con frecuencia nitrógeno) y la producción de una ráfaga de electrones.

De este proceso de ionización, en ausencia de especies orgánicas, resulta una corriente constante entre un par de electrodos. Sin embargo, la corriente disminuye

significativamente en presencia de moléculas orgánicas que tienden a capturar electrones.

El detector de captura de electrones es de respuesta selectiva, siendo muy sensible a las moléculas que contienen grupos funcionales electronegativos tales como halógenos, peróxidos, quinonas y grupos nitro; en cambio, no es sensible a grupos funcionales como aminas, alcoholes e hidrocarburos. Una aplicación importante del detector de captura de electrones es la detección y determinación de insecticidas clorados.

El ECD es altamente sensible y tiene la ventaja de no alterar la muestra de manera significativa (a diferencia del detector de llama). Por otra parte, su intervalo de respuesta lineal se limita a unos dos órdenes de magnitud (Skoog, 2001).

12.4 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/81

Niveles máximos en mg L⁻¹

PARAMETRO	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Agua dulce	Agua Marina (aguas costeras)
Γ-BHC o Llindano	0.003	-	-	-	0.002	0.0002
Aldrín	0.00003	0.00005	0.02	-	0.003	0.001
Dieldrín	0.0000007	0.000003	0.02	-	0.002	0.0007
Endrín Aldehído	0.001	0.000002	-	-	0.00002	0.00004
Heptacloro	0.0001	0.000002	0.02	-	0.0005	0.0005
Heptacloro Epóxido	0.0001	0.000002	0.02	-	0.0005	0.0005
Endosulfán I	0.07	-	-	-	0.0002	0.00003
pp-DDT	0.001	0.000005	-	-	0.001	0.0001
Endosulfán II	0.07	-	-	-	0.0002	0.00003
Dibutilenclorendato	-	-	-	-	-	-
Metoxicloro	0.03	-	-	-	-	-

= No especificado por el acuerdo