



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

DETERMINACION DE PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS
EN LA PRESA "EL MANANTIAL" Y EL RIO "PAPALOTES";
TIZAYUCA, HIDALGO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

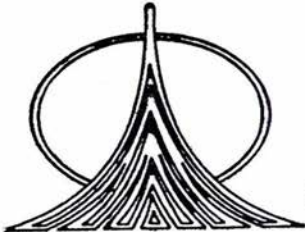
B I O L O G O

P R E S E N T A N :

ESPERANZA URBIETA FLORES

VERONICA LOPEZ MOYSSEN

DIRECTOR: M. EN C. LOURDES CASTILLO GRANADA



MEXICO, D. F.

MARZO 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico con cariño y respeto a todas aquellas personas que con sabiduría y paciencia me formaron a lo largo de mi trayectoria profesional.

A mi esposo: porque su llegada a mi vida a significado una revolución muy importante.

A mis abuelos: que desde lejos no dudo me envíen sus bendiciones.

A mis padres: que sin importar mis triunfos o fracasos siempre estarán conmigo.

A mis hermanos y hermanas: de los que he obtenido muchos ejemplos de superación y que además me han consentido.

A mis sobrinos: para que todo lo que genere de bueno este proceso les sirva de ejemplo.

A mis maestros: porque el tiempo y esfuerzo que me han dedicado no ha sido en vano.

Y a todos los amigos y compañeros que preocupados e interesados por estudiar la multitud de formas que van desde la bacteria más diminuta hasta los grandes reptiles que vivieron en el pasado, van buscando las causas de este fenómeno extraordinario de la naturaleza, la vida misma.

RECONOCIMIENTOS

A mi directora de tesis M. en C. Lourdes Castillo Granada por sus enseñanzas, consejos y comprensión que siempre ha dirigido a sus alumnos y en especial a mi.

A mi profesora y sinodal Biol. Maricela Arteaga Mejía por su temple y lugar en el que se mantiene, y a quien agradezco infinitamente todo el apoyo brindado.

A mis sinodales Raúl Arcos R., Rocio Breceda H. y Manuel Rico B. por su participación en la revisión del presente trabajo, contribuyendo a mejorar su calidad.

A mi compañera y amiga Esperanza, por su dinamismo que contagia, provocado despertarme de mi eterno letargo.

*Aunque la gente habla de las plagas
estremeciéndose de miedo, cuando se
refiere a destructores como Alejandro y
Napoleón muestran un reverente éxtasis.*

Khalil Gibran.

Dedicatoria

A Dios por brindarme la oportunidad de existir.

A Mis padres

Que me han brindado siempre su apoyo, amor y confianza.

A mis hermanos y sobrinos

Por todas aquellas experiencias que hemos compartido juntos.

A mi amado esposo

Por que siempre me ha impulsado a seguir adelante y por su valiosa cooperación.

A mis amigos

De los que siempre he recibido ayuda a cada momento.

E s p e r a n z a U r b i e t a F l o r e s

Agradecimientos

A la Biól. Maricela Arteaga Mejía por esta oportunidad y sus valiosas aportaciones al trabajo.

A la M. en C. A. Lourdes Castillo Granada por la confianza depositada en mí y su ayuda sin condiciones en la dirección de esta tesis.

A mis sinodales:

M. en C. Manuel F. Rico Bernal

Biól. Raúl Arcos Ramos

Q. F. B. Rocio Breceda Hernández

Por su disposición en la revisión de este trabajo y sus valiosas aportaciones.

Esperanza Urbietta Flores

*Rara es la vida, con sus vueltas y revueltas,
y todos con el tiempo lo aprendemos;
más de un fracaso puede ser un triunfo
si uno persiste en lugar de claudicar.
Persiste en tu tarea aunque el andar sea lento,
puede ser cerca cuando parece lejos,
tal vez triunfes con otro paso más.*

INDICE

INDICE	i
RESUMEN	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Plaguicidas	7
2.1.1. Cronología del uso de plaguicidas.....	7
2.1.2. Características generales de los plaguicidas.....	13
2.1.3. Criterios de clasificación.....	15
2.2. Plaguicidas organoclorados.....	22
2.2.1. Estructura química.....	22
2.2.2. Propiedades físicas y químicas.....	24
2.2.3. Toxicología.....	26
2.2.4. Fuentes de contaminación en el ambiente	29
2.2.5. Movilidad en el ambiente.....	30
2.2.6. Efectos ecológicos en el agua.....	33
2.3. Legislación ambiental en materia de plaguicidas.....	34
3. CROMATOGRAFÍA DE GASES.....	45
4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	52
4.1. Generalidades del Municipio de Tizayuca, Hidalgo	54
4.1.1. Localización.....	54

4.1.2.	Clima	54
4.1.3.	Suelo	54
4.1.4.	Uso del suelo	55
4.1.5.	Flora y fauna	55
4.1.6.	Hidrología.....	56
4.1.7.	Desarrollo industrial	57
4.1.8.	Selección de la zona y los sitios de muestreo.....	57
4.1.9.	Descripción de cada punto de muestreo.....	58
5.	OBJETIVOS.....	61
5.1.	Objetivo general.....	61
5.2.	Objetivos particulares.....	61
6.	HIPÓTESIS	62
7.	METODOLOGÍA.....	63
7.1.	Material, reactivos, equipo e instrumentos	63
7.1.1.	Material.....	63
7.1.2.	Reactivos.....	63
7.1.3.	Equipo e instrumentos.....	64
7.2.	Método.....	65
7.2.1.	Fase de campo	65
7.2.2.	Fase de laboratorio.....	66
7.2.3.	Fase de gabinete	69

8. RESULTADOS.....	70
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
10. CONCLUSIONES.....	77
11. PROPUESTAS.....	78
12. BIBLIOGRAFÍA.....	79
13. ANEXOS.....	95
Anexo I. Cronología del desarrollo de los plaguicidas.....	95
Anexo II. Volumen usado y ventas de DDT en México de 1988 a 1997.....	96
Anexo III. Características físicas y químicas de derivados clorados.....	97
Anexo IV. Otros plaguicidas y sus características.....	99
Anexo V. Autoridades que controlan los plaguicidas en México.....	106
Anexo VI. Ejemplos de normas relacionadas con los plaguicidas.....	107
Anexo VII. Recomendaciones para sustituir el uso de plaguicidas químicos.....	109
Anexo VIII. Métodos de disposición de excedentes de plaguicidas y desecho de envases.....	113

RESUMEN

El uso de plaguicidas químicos en México ha sido intenso en los últimos 60 años, su contribución ha significado la mejora e incremento en la producción de alimentos, en la salud pública ha sido determinante para el control de organismos vectores que transmiten enfermedades a la población.

Entre los plaguicidas organosintéticos más empleados están los organoclorados. Este tipo de compuestos son altamente persistentes, solubles en grasas, de difícil degradación, sujetos a bioacumulación y especialmente tóxicos. Estas características son responsables de la acumulación de residuos de plaguicidas, los cuales se distribuyen en el ambiente contaminando; suelo, agua, aire, flora, fauna y al hombre, generando problemas de salud pública.

En el agua la presencia de estos compuestos puede tener su origen en actividades agrícolas, domésticas o industriales y sus efectos más importantes se inician con su inclusión en la cadena alimentaria.

En virtud de los riesgos para las especies acuáticas, debido a su inherente toxicidad y bioacumulación, su presencia en el agua está estrictamente regulada por los "Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (Nacional e internacionalmente)", que establece los Límites Máximos Permisibles.

Por lo anterior se realizó la evaluación de los niveles de plaguicidas organoclorados en los sistemas acuáticos: presa "El Manantial" y río "Papalotes" en Tizayuca; estado de Hidalgo, empleando la Técnica de Cromatografía de Gases con Detector de Captura de Electrones.

Se detectaron los siguientes plaguicidas: Lindano (γ -BHC), Heptacloro, Aldrin, Heptacloro epóxido, Endosulfan I, Dieldrín y p,p'-DDT, en general todos con valores más altos que los Límites Máximos Permisibles.

El compuesto más ampliamente distribuido en el agua fue el γ -BHC, encontrado en todas las estaciones de muestreo ("El Manantial", "Emiliano Zapata", "Ladrillos" e "Industrial") en diferentes épocas de colecta, presentándose la concentración más elevada (0.437535 $\mu\text{g/mL}$), durante el mes de Octubre en la estación "Ladrillos".

En esta misma estación y época de colecta se determinaron valores elevados para los compuestos Endosulfan I y Heptacloro, 8.561182 y 14.061205 $\mu\text{g/mL}$ respectivamente, mayores a los establecidos como Límites Máximos Permisibles por SEDESOL, 89 y US-EPA, 97.

El p,p'-DDT se determinó exclusivamente en la estación "El Manantial", en el mes de marzo con un valor de 2.000347 $\mu\text{g/mL}$, mayor al establecido como Límite Máximo Permisible por SEDESOL, 89 y US-EPA, 97.

La normatividad (SEDESOL, 89 y US-EPA, 97) indica que son compuestos restringidos o prohibidos para su empleo debido a su elevada toxicidad sobre las poblaciones biológicas y a pesar de ello se siguen usando en algunas zonas de la República Mexicana.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de la actualidad es el de la contaminación ambiental, generada por compuestos químicos tóxicos, debido a los riesgos para la salud humana y la contaminación de los ecosistemas (Ruiz, 1991; Toledo, 1994; Hernández y Pérez, 1995; López *et al.*, 2002).

Entre estos compuestos están los plaguicidas organoclorados, cuyo uso ha sido indiscriminado e irracional en las actividades agrícolas y en el control de vectores transmisores de enfermedades como; paludismo, malaria, dengue, tifo y otras más (Viveros y Albert, 1990; Botello *et al.*, 1994; Murayama, 2003). Su desarrollo y uso se inició desde la década de los 30, con el descubrimiento del DDT y su empleo abundante durante y después de la Segunda Guerra Mundial. Pero en la década de los 50 se observó que muchos insectos habían desarrollado resistencia a esta sustancia, ocasionando el surgimiento de plaguicidas organoclorados más potentes como aldrín, endosulfan, lindano, y toxafeno, entre otros. En los últimos años ha habido una disminución de su uso, México y muchos otros países del mundo los han prohibido o restringido por sus efectos letales sobre los seres vivos (Restrepo, 1992; Aguilar *et al.*, 2002).

Las principales características de los plaguicidas organoclorados son: amplia capacidad de dispersión, alta estabilidad química, además de que son muy solubles en grasas lo que les permite almacenarse en tejidos animales y vegetales, así como adherirse a partículas suspendidas de agua y sedimentos de los ecosistemas acuáticos (Vega, 1985; Matin, 1998; Viñas *et al.*, 2002).

Su alta persistencia y toxicidad los convierte en una amenaza para el hombre y otros seres vivos (Benítez, 1990; Rueda *et al.*, 1997; Prado *et al.*, 1998).

Algunos de los riesgos a los que se expone el hombre al entrar en contacto con ellos se manifiestan en intoxicaciones de grado diverso, que pueden presentarse a mediano o largo plazo como carcinogénesis, teratogénesis, esterilidad, mutagénesis y otras más (Bejarano, 1999; Costabeber, 2000; Toledo, 2002).

Su uso en la producción agrícola tiene gran importancia, por la interacción plaguicida-suelo-agua y por el problema de impacto adverso a los cuerpos de agua (Reid *et al.*, 2001). En los últimos decenios esto se ha acentuado; debido al incremento sustancial de desechos tóxicos y residuos de plaguicidas organoclorados que se vierten a las mismas (L'vovich *et al.*, 1995; Ramasamy, 1997; Toledo, 2002).

Es importante señalar que desde hace años se realizan investigaciones destinadas a determinar los niveles de compuestos organoclorados en agua, aire, suelo, alimentos de origen vegetal y animal e incluso en el hombre, como un esfuerzo por tratar de reparar los estragos y efectos adversos de los mismos sobre el ecosistema, el hombre y los animales (Costabeber, *et al.*, 2000).

La realización del presente trabajo se da ante la preocupación de llevar a cabo estudios ambientales que permitan identificar los tipos, el nivel de concentración y contaminación que generan los plaguicidas organoclorados, en los cuerpos de agua de Tizayuca, Hidalgo, México.

2. ANTECEDENTES

La historia del desarrollo y uso de los plaguicidas es fundamental para entender cómo y por qué han representado una amenaza para el medio ambiente, especialmente en los sistemas acuáticos (Rodríguez *et al.*, 1994; Ongley, 2001).

Los principales plaguicidas químicos que se emplearon en la antigüedad fueron productos naturales como extractos de plantas y aceite de petróleo (Albert, 1997).

En 1690 se utilizó en Europa la nicotina, obtenida de los extractos de hoja de tabaco, para controlar el picudo del ciruelo (*Conotrachelus nenuphar*). Hacia 1850 se introdujeron dos importantes insecticidas naturales: la rotenona, obtenida de las raíces de la planta de *Derris sp.* y el piretró procedente de las flores de una especie de crisantemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*). En esta misma época también se usaba el jabón para matar áfidos y el azufre como producto curativo de los hongos ectoparásitos como las cenicillas polvorientas; *Uncinula necator* de la vid y *Erysiphe cichoracearum* del melón y el pepino (Restrepo, 1992).

En 1856 se desarrolló el Verde de París, una mezcla de arsenato y acetato cúpricos, para controlar el escarabajo de la papa (*Leptinotarsa decemlineata*). La mezcla de Burdeos o caldo Bordelés, a base de sulfato de cobre y cal viva se usó en 1882 para combatir el tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) y el "mildiu" de la vid (*Plasmopora viticola*).

La década de los treinta marca el verdadero comienzo de la era moderna, al introducir los plaguicidas orgánicos sintéticos, aunque algunos fueron sintetizados desde hace mucho tiempo; por ejemplo el hexaclorociclohexano (HCH), en 1825 por Faraday; y el DDT, en 1876 por Zeldler, antes de que fueran utilizados como insecticidas (Vega, 1985; Restrepo, 1992). En 1935, Paúl Müller, descubre las extraordinarias propiedades insecticidas del DDT (diclorodifeniltricloroetano), convirtiéndose en el compuesto más ampliamente usado en el mundo para eliminar una gran variedad de insectos, por ejemplo el mosquito vector de la malaria; *Anopheles labranchiae* (Cremlyn, 1995).

En 1940, la Geigy Chemical Company empezó a fabricar el producto que en un principio se utilizó en los frentes de batalla de la Segunda Guerra Mundial para exterminar a los mosquitos (*Anopheles spp*) que propagaban el paludismo. Para el año de 1945 la producción de DDT en los EE.UU., excedió las 14500 toneladas y paralelamente comenzó a aplicarse en los campos agrícolas gracias a sus efectos letales contra los insectos, su persistencia después de la aplicación en los cultivos y su bajo costo (Jhonston, 2001).

De esta forma, el DDT introduce un nuevo concepto dentro del control de plagas y se inicia un intenso período de desarrollo y expansión de los plaguicidas característicos del siglo XX (Vega, 1998).

Después del éxito del DDT, se desarrollaron varios insecticidas análogos como el metoxicloro, encontrándose que un buen número de compuestos organoclorados eran excelentes insecticidas de contacto. En 1945 se introdujeron al mercado varios hidrocarburos clorados derivados de ciclodienos, que tenían propiedades insecticidas; su uso se popularizó hasta

mediados de los años 50. Algunos ejemplos de estos productos son: toxafeno, clordano, aldrin, dieldrín, hexacloro ciclohexano y heptacloro (Albert, 1997).

Durante el desarrollo de los plaguicidas organoclorados se consideró que por su costo y efectos serían los compuestos ideales para el control de plagas, así como un medio para aumentar la disponibilidad de alimentos a corto plazo (Matin, 1998). Se pensó que el beneficio superaría al riesgo en su aplicación. Sin embargo, los insectos desarrollaron la capacidad de biotransformar estos compuestos por: medios enzimáticos, excreta rápida o lenta absorción; de tal manera que surgieron las especies resistentes mucho más difíciles de combatir. Otro problema es la persistencia de los plaguicidas, por su estabilidad química se acumulan en el medio ambiente y la biota (Valle, 1991; Aguilar, 1994; Lombera, 1994).

En 1962 se alertó mundialmente a la opinión pública, gobiernos y científicos, sobre los riesgos para el hombre debido al contacto frecuente con residuos de sustancias estables y tóxicas como los plaguicidas organoclorados (Murayama, 2003).

Como respuesta a los efectos nocivos de estas sustancias surgen los plaguicidas sintéticos organofosforados (desarrollados por Gerhard Schrader en Alemania), como el malatión usado desde 1950.

Los ésteres carbámicos se descubrieron en 1947, aunque su comercialización se inició una década después. Los primeros piretroides se sintetizaron en la década de 1940, pero fue veinte años después que se desarrollaron con buena actividad plaguicida y suficiente estabilidad para permitir un uso redituable.

Otros productos que se han sintetizado imitan estructuras naturales como feromonas sintéticas, inhibidores de la síntesis de la quitina y análogos de las hormonas juvenoides, los cuales se introdujeron a mediados de la década de 1970. Estos productos químicos no matan al insecto pero interfieren con sus procesos fisiológicos naturales, son útiles en la protección de los seres humanos y el ganado, pero no para los cultivos (Romero, 1997).

El surgimiento y desarrollo de los diferentes compuestos químicos de acción plaguicida, ha sido originado por: las necesidades del hombre, la aparición de organismos resistentes o la aparición de nuevos organismos plaga. En el Anexo I se muestra la cronología del desarrollo de los plaguicidas (Stephenson y Solomon, 1993).

2.1. Plaguicidas

2.1.1. Cronología del uso de plaguicidas

El empleo de plaguicidas en nuestra agricultura, se inicia a finales del siglo pasado. En 1898, ya se utilizaban 38 compuestos químicos; entre ellos, arseniato de plomo, arsénico blanco, ácido cianhídrico, ácido fénico, verde de Paris y caldo Bordelés. La mayor preocupación del gobierno era la belleza del producto y la protección de las plantas. El combate de plagas se convirtió en la acción estratégica más importante para lograr altas cosechas y la aplicación de plaguicidas en la medida más rentable para los intereses económicos. Esto facilitó la introducción de un número creciente de dichas sustancias en los años cuarenta. Paralelamente algunos agroquímicos se usaron para controlar los vectores asociados a enfermedades endémicas y en el combate de diversas plagas domésticas (Restrepo, 1992). Sin embargo, todos esos compuestos han generado diversos problemas sanitarios y ambientales (Muir et al., 1992; Tanabe, 2002; Murayama 2003).

A continuación se muestra un panorama general sobre casos de intoxicaciones reportadas en México por el uso de plaguicidas:

- ✓ 1946 era de los plaguicidas órgano-sintéticos en México, se realizaron los primeros ensayos con el DDT para combatir el paludismo en las regiones de Temixco y Acatlipa, Estado de Morelos (Vega, 1998).
- ✓ 1948 se generaliza el uso del DDT en los campos agrícolas y en el combate al vector del paludismo, principalmente en las regiones de Coahuila y Durango (SEMARNAP-INEGI, 1997).

- ✓ 1949 quedó probado el potencial del DDT, al erradicarse la malaria de las regiones de Xochimilco y del ahora estado de Baja California Sur (Vega, 1998).
- ✓ 1956 México fue declarado país piloto en la erradicación del paludismo, lo que finalmente se logra en 1965, gracias al uso del DDT (SEMARNAP-INEGI, 1997).
- ✓ 1969 a 1979 los principales hidrocarburos utilizados en nuestro país son: DDT, toxafeno, HCH, endrín, heptacloro, endosulfan, galecron, lindano, clordano, keltano, clorobenzilato, metoxicloro, tedion, aldrín, DDD, phertane, dieldrín, telodrin, mirex, dichlone, ovex y aramite (Vega, 1998).
- ✓ 1970 mortandad de especies marinas, acuáticas y terrestres en Bahía de Lobos en Sinaloa, por el uso de grandes cantidades de aldrín, dieldrín, DDT, lindano y endrín (Restrepo, 1992).
- ✓ 1974 explosión en la planta POLIQUIMIA, en Xalostoc, Edo. de México, la cual producía plaguicidas como el 2-4,D (prohibido) y el pentaclorofenol (actualmente revisado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)); lo que generó problemas toxicológicos a los trabajadores de la empresa e incluso defunciones (Restrepo, 1992).
- ✓ 1978 el 80% de la producción de DDT se destina al control de plagas en agricultura y ganadería y el resto para propósitos de la salud pública (Alpuche, 1991).
- ✓ 1980 se detectó la presencia de plaguicidas organoclorados como el dieldrín, endrín, DDD, DDE y DDT, en el huevo de ave (pollo) que se produce en el Estado de Sonora (Restrepo, 1992).

- ✓ 1981 usó de insecticidas organofosforados (paratión, dimetoato, triclorfán) y organoclorados (aldrín, lindano, DDT), en el combate de plagas a cultivos en el Estado de Michoacán.
- ✓ 1982 se registran plaguicidas como: DDT, DDE, epóxido de heptacloro, dieldrín y lindano en leche de vaca y derivados, que exceden las tolerancias internacionales, en muestras provenientes de la Comarca Lagunera y la Ciudad de Morelia.
- ✓ 1991 explosión en la empresa mezcladora de plaguicidas, Agricultura Nacional de Veracruz (ANAVERSA) en Córdoba; Veracruz, miles de litros de plaguicidas altamente persistentes y tóxicos generaron la formación de dioxinas. Este hecho mereció la recomendación de la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH 99-91; respecto a las violaciones de los derechos de los individuos y comunidades indígenas por la explotación de los recursos naturales), aún sin cumplirse totalmente (RAPAM, 1997).
- ✓ 1991 la preocupación por la persistencia del DDT en los suelos y los continuos rechazos de productos agrícolas de exportación por su alto contenido, llevaron a restringir su venta y uso en México. En el Anexo II se muestra el volumen usado y las ventas de DDT en México en el período comprendido de 1988-1997 (SEMARNAP-INEGI, 1997).
- ✓ 1995 jornaleros aplican plaguicidas a cultivos, en los Valles de Sinaloa, Michoacán y Oaxaca siendo los más peligrosos; organoclorados, organofosforados y carbamatos (Franco, 1995).
- ✓ 1996 empleo del plaguicida clordano en la eliminación de termitas en productos de madera en Nuevo León, Jalisco, Estado de México y Distrito Federal (Restrepo 1992).

- ✓ 1998 alto contenido de plaguicidas como: DDT, DDE, lindano, dieldrín y epóxido de heptacloro, en leche materna en la Ciudad de México, Puebla, Veracruz y el Valle del Yaqui en Sonora (Prado, *et al.*, 1998).
- ✓ 1998 se determinan residuos de plaguicidas como HCH, aldrín, dieldrín y endrín, que exceden los límites fijados para consumo humano por la Organización mundial de la salud (OMS), en reconocidas marcas de leche pasteurizada de vaca (García, 1997; Prado *et al.*, 1998).
- ✓ 1999 usó del DDT en campañas para erradicar el paludismo eliminando al organismo vector (mosquito *Anopheles spp*) que transmite al parásito (*Plasmodium falciparum*) causante de la enfermedad principalmente en Guerrero, Chiapas, Sinaloa, Michoacán y Oaxaca (Martínez-Tabche, *et al.*, 1999; SEMARNAP, 1996).
- ✓ 2003 reporte sobre el estudio; Plaguicidas (organofosforados y carbámicos), Tabaco y salud: el caso de los jornaleros huicholes, mestizos y ejidatarios en Nayarit (Enciso, 2003).
- ✓ 2003 intoxicaciones en jornaleros de Ensenada, Baja California, originadas por plaguicidas químicos organoclorados y organofosforados (Sánchez, 2003).

Algunos estudios reportados en agua en México, demuestran el uso reciente de plaguicidas organoclorados restringidos o prohibidos.

- ✓ 1987 en Tepatitlán; Jalisco, se analizó el “agua potable” de la presa “El Chiquihuite” que causó intoxicaciones a más de 200 personas por su ingesta, debido a la presencia de plaguicidas y fertilizantes de uso agrícola (Restrepo, 1992).
- ✓ 1995 análisis de la concentración de residuos de plaguicidas organoclorados en sedimentos y biota del río “Palizada” en México. Los

resultados mostraron la presencia de valores elevados para endosulfan, clordano y endrín en las muestras de sedimentos (Gold-Bouchot *et al.*, 1995)

- ✓ 1996 análisis de dos sistemas lagunares de Chiapas; México, los resultados mostraron la presencia de plaguicidas organoclorados como: aldrín, endrín, dieldrín, heptacloro y su epóxido, endosulfan I y II; DDD, DDE y DDT (Rueda *et al.*, 1997).
- ✓ 1997 estudio de evaluación de los niveles de contaminación por plaguicidas organoclorados en agua y sedimentos de la "Laguna de Mecoacán"; Tabasco, los resultados indicaron la presencia en el ecosistema acuático de los siguientes compuestos: lindano y su isómero beta, aldrín, heptacloro, endosulfan I, p,p'DDE y DDT (Uribe, 1997).
- ✓ 1999, estudio de la presa "Ignacio Ramírez" en Yucatán, México donde se demuestra el uso actual del DDT y el clordano en el combate de la malaria y las termitas (Martínez-Tabche *et al.*, 1999).

Algunos estudios reportados en agua a nivel Mundial, que demuestran el uso reciente de plaguicidas organoclorados restringidos o prohibidos.

- ✓ 1992 estudio de la distribución y dispersión del endosulfan en ecosistemas acuáticos y sus implicaciones para estudios sobre biodegradación (Turlongh and Kennedy, 1992).
- ✓ 1994 determinación de residuos de plaguicidas organoclorados (γ -BHC, DDT y aldrín) en el río "Ganga", India (Nayak *et al.*, 1995).
- ✓ 1998 determinación de residuos de insecticidas organoclorados (DDT, clordano, lindano, aldrín y dieldrín) en aguas superficiales y profundas en diferentes regiones de Bangladesh (Matin, 1998).

- ✓ 1998 estudio sobre los riesgos de la transformación de productos de plaguicidas en los ecosistemas acuáticos (Belfroid *et al.*, 1998).
- ✓ 2002 determinación del transporte y destino de plaguicidas organoclorados (DDT y sus isómeros, clordano, aldrin, endrin, dieldrin, heptacloro y su epóxido, metoxicloro y endosulfan) en el sureste del río "Wuchuan" (Zhang *et al.*, 2002).
- ✓ 2002 estudio de contaminación por plaguicidas organoclorados en aguas superficiales en Hanoi, Vietnam (Thiemann, 2002).
- ✓ 2003 estudio sobre la contaminación con metales pesados y plaguicidas organoclorados en aguas superficiales del río "Kücük Menderes" en Turquía, 2000-2002 (Turgut, 2003).

2.1.2. Características generales de los plaguicidas

Un plaguicida es considerado como cualquier sustancia o mezcla de ellas que se destinan a destruir, controlar, o repeler la acción de cualquier plaga, incluidos los vectores de enfermedades humanas o animales, así como las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria o forestal, por ejemplo, las que causan daño durante el almacenamiento, transporte y comercialización de todo tipo de bienes materiales del hombre; incluidas las sustancias defoliantes y desecantes (Johnnston, 2001; CICOPLAFEST, 1998).

Una plaga es cualquier tipo de organismo que por su densidad de población perjudique los cultivos, la salud, los bienes o el ambiente del hombre, así como a otros seres vivos (Albert, 1997; Rojas, *et al.*, 2000).

Entre los grupos de plagas más importantes están los insectos; son los más diversos de toda la fauna de la tierra, los más adaptables y prolíficos. Estos rasgos los hacen perfectamente capaces de resistir; a largo plazo, un producto químico. Lo anterior explica porque aproximadamente 15 mil especies son consideradas como indeseables, por ser vectores de enfermedades o responsables de la destrucción de alimentos. En otros casos las plagas, como roedores y aves dañan los alimentos, al degradarlos, consumirlos o contaminarlos, por excretas o restos de pelos o plumas (Wayland, 1991; Valle, 1991).

Entre las propiedades físicas y químicas de los plaguicidas que más influyen en su comportamiento ambiental y pueden favorecer la exposición de los

ecosistemas se encuentran las citadas en el Cuadro 1 (SEMARNAP-Serie 1, 1996).

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

<i>Propiedades</i>	<i>Descripción</i>
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.
Coefficiente de partición lípido/agua	Este valor proporciona de manera indirecta información sobre la solubilización y distribución de un plaguicida en un organismo vivo. Plaguicidas con un coeficiente mayor a uno (Aldrin y DDT) son liposolubles, se absorben 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 las 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).

2.1.3. Criterios de clasificación.

Los plaguicidas se pueden clasificar de acuerdo a diferentes criterios. A continuación se presentan los más comunes (CICOPLAFEST, 1994; SEMARNAP- Serie 1, 1996):

1) Origen.

- ✓ Naturales; son elementos extraídos de algunos componentes que se encuentran en el ambiente natural como: nicotina del tabaco, piretrinas de las flores, arseniatos, fósforo y rotenona, entre otros.
- ✓ Sintéticos; son los elaborados por el hombre con la ayuda de la industria química y tratando de imitar la composición de los elementos naturales, por ejemplo el DDT, malatión y carbaryl. Para su venta comercial combinan un "ingrediente activo", que está elaborado para combatir un determinado tipo de plaga, además de contener uno o varios ingredientes "inertes" (excipientes), que diluyen el producto tóxico. En la mayoría de los casos el excipiente es un compuesto orgánico del que rara vez se toman en cuenta los efectos nocivos, que en muchas ocasiones superan los de los ingredientes activos. Por ejemplo, el tetracloruro de carbono y el cloroformo (potentes sustancias que son tóxicas para el hígado y el sistema nervioso central) pueden utilizarse como ingredientes "inertes" sin ser mencionados en la etiqueta del producto (Horst, 1993).

2) Plaga a la que atacan.

- ✓ Insecticidas; sustancias que eliminan insectos.

- ✓ Acaricidas; compuestos que controlan ácaros.
- ✓ Bactericidas; sustancias que impiden el crecimiento de bacterias.
- ✓ Herbicidas; sustancias que evitan el desarrollo de la maleza.
- ✓ Nematicidas; compuestos usados en control de nematodos.
- ✓ Rodenticidas; sustancias que controlan las poblaciones de roedores.
- ✓ Fungicidas; compuestos que retrasan el desarrollo de hongos.
- ✓ Molusquicidas; sustancias que impiden la proliferación de moluscos.
- ✓ Avicidas; sustancias que controlan las poblaciones de aves.

3) Por su formulación (presentación comercial).

- ✓ Sólidos; pueden ser polvos, granulados, pastas, comprimidos (tabletas), encapsulados y cebos envenenados. La contaminación que provocan al ambiente suele ser lenta y su principal vía de intoxicación es la respiratoria (Viveros, 1990; CICOPLAFEST, 1998).
- ✓ Líquidos; pueden ser suspensiones, soluciones, concentrados, emulsiones y pastas gelatinosa. Poseen un efecto más rápido sobre el medio y su acción toxicológica es más intensa por las vías dérmica y digestiva (SEMARNAP- Serie 1, 1996; CICOPLAFEST, 1998).
- ✓ Gases; licuados o comprimidos. Su efecto adverso sobre el ambiente es relativamente lento y las principales vía de intoxicación son la respiratoria y la digestiva (Viveros, 1990; CICOPLAFEST, 1998).

4) Por su persistencia.

Esta basada en el tiempo que transcurre desde su aplicación hasta su degradación. La persistencia se define como la capacidad del plaguicida para retener sus características físicas, químicas y funcionales en el medio, en el cual es transportado o distribuido, por un período limitado después de su emisión. Los que persisten más tiempo, tienen mayor probabilidad de interacción con los diversos elementos que conforman los ecosistemas y si su vida media y su persistencia son mayores a la frecuencia con la que se aplican tienden a acumularse tanto en el suelo como en la biota (ejemplos de persistencia y acumulación en el Cuadro 2). De acuerdo a lo anterior se pueden establecer los siguientes tipos:

- ✓ Ligeramente persistentes; duración menor a cuatro semanas
- ✓ Poco persistentes; duración de cuatro a veintiséis semanas
- ✓ Moderadamente persistentes; duración de veintisiete a cincuenta y dos semanas
- ✓ Altamente persistentes; duración más de un año y menos de veinte
- ✓ Permanentes; duración más de veinte años (SEMARNAP- Serie 1, 1996).

Cuadro 2. Ejemplos de la persistencia y bioacumulación de plaguicidas (SEMARNAP- Serie 1, 1996).

<i>PLAGUICIDAS</i>	<i>PERSISTENCIA EN SUELOS (SEMANAS)</i>	<i>FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN</i>
Organoclorados		
Aldrín	530	4 444 (pez)
Dieldrín	312	3 300 (pez)
Endrín	624	1 000 (pez)
DDT	546	70 000 (ostra)
Hexaclorobenceno	208	60 (ostra)
Lindano	728	60 (ostra)
Organofosforados		
Malatión	2	0 (camarón)
Paratión	8	9
Forato	2	0 (pez)
Carbamatos		
Carbaryl	2	0 (ostra)
Carbofuran	8-16	0
Varios		
Diclorvos	8	0 (ostra)
Captan	1	0
2,4,5-T	1-12	0
Cloruro de mercurio	Permanente	3 000 (pez)

5) Por su toxicidad.

Por los efectos adversos que pueden causar en los seres vivos.

- ✓ Aguda o inmediata; la absorción es repentina y rápida y se reconoce fácilmente por la manifestación de síntomas como: vómitos, mareos, trastornos neurológicos e incluso la muerte.
- ✓ Crónica; ocurre gradualmente y se manifiesta a largo plazo produciendo efectos como: diversos tipos de cáncer, aborto espontáneo, defectos congénitos, lesiones neurales, esterilidad y mutaciones genéticas.

6) Por su modo de acción.

La forma en que el ingrediente activo (compuesto químico) ejerce su acción sobre la plaga.

- ✓ De contacto; actúa principalmente al ser absorbido por los tejidos externos de la plaga.
- ✓ De ingestión; es ingerido por la plaga por su acción efectiva.
- ✓ Sistémico; al aplicarse en plantas o animales, se absorbe y traslada por su sistema vascular o sanguíneo a puntos remotos del lugar en que se aplica y en los cuales actúa.
- ✓ Fumigante; se difunde en estado gaseoso o de vapor y penetra por todas las vías de absorción.
- ✓ Repelente; impide que las plagas ataquen.
- ✓ Defoliante; causa la caída del follaje de las plantas (CICOPLAFEST, 1998).

7) Por su composición química.

Se refiere a los ingredientes activos que lo constituyen, en general se pueden ubicar dentro de tres grupos

- ✓ Compuestos inorgánicos; son los que carecen de carbono, como los derivados de cobre, azufre, zinc y aluminio.
- ✓ Compuestos orgánicos; son aquellos que contienen átomos de carbono en su estructura química. La mayoría de origen sintético, fabricados a partir de compuestos químicos básicos y algunos extraídos de plantas, por lo que se conocen como botánicos. Los compuestos orgánicos sintéticos utilizados como plaguicidas pertenecen a distintos grupos o familias químicas. Cada uno de estos grupos tienen algunas características comunes y en

cualquiera de ellos puede haber insecticidas, aracnidas, herbicidas, fungicidas u otros tipos de plaguicidas.

- ✓ Plaguicidas biológicos; se llaman así a los microorganismos o derivados de su metabolismo, formulados como insumos, que pueden controlar a una plaga en particular (CICOPLAFEST, 1998). Algunos plaguicidas de origen biológico son usados en campañas de salud pública; por ejemplo, el *Bacillus thuringiensis*, que controla el desarrollo de los mosquitos que transmiten la malaria y del *Simulium Sp.*, vector de la oncocercosis.

8) Por el uso al que se destinan.

- ✓ Agrícolas; aplicados en diversas extensiones de tierra, en sistemas de producción agrícola y en productos y subproductos de origen vegetal.
- ✓ Forestales; empleados en bosques y maderas.
- ✓ Urbanos; aplicados en ciudades y zonas habitacionales, por ejemplo en edificios, no incluye el uso doméstico.
- ✓ Para jardinería; en jardines y plantas de ornato.
- ✓ Pecuarios; aplicados en animales o instalaciones de producción intensiva o extensiva cuyo producto es destinado al consumo humano, o a usos industriales, Incluye el uso en animales domésticos.
- ✓ Domésticos; incluye el uso en el hogar.
- ✓ Industriales; empleado en el procesamiento de productos y subproductos, así como para el cuidado de áreas industriales (CICOPLAFEST, 1998).

9) Por su concentración.

Se basa en la forma en que es preparado y/o combinado el compuesto químico plaguicida.

- ✓ Ingrediente activo; compuesto químico que ejerce la acción plaguicida.
- ✓ Plaguicida técnico; la máxima concentración del ingrediente activo obtenida como resultado final de su fabricación, de la cual se parte para preparar un plaguicida formulado.
- ✓ Plaguicida formulado; mezcla de uno o más plaguicidas técnicos, con uno o más ingredientes conocidos como inertes, cuyo objeto es dar estabilidad al ingrediente activo o hacerlo útil o eficaz; constituye la forma usual de aplicación de los plaguicidas.

10) Por su estructura química.

La principal ventaja de esta clasificación es que permite agrupar a los plaguicidas con un criterio uniforme y científico y establecer una correlación entre estructura y actividad; estructura y toxicidad; estructura y mecanismos de degradación (Viveros, 1990). Se agrupan según su composición y características químicas en (CICOPLAFEST, 1998):

- ✓ Organoclorados
- ✓ Organofosforados
- ✓ Carbamatos
- ✓ Piretrinas
- ✓ Piretroides
- ✓ Otros

2.2. Plaguicidas organoclorados

2.2.1. Estructura química

Dependiendo de su estructura, los plaguicidas organoclorados se clasifican en tres grupos principales:

- 1) Derivados halogenados de hidrocarburos alicíclicos
- 2) Derivados halogenados de hidrocarburos aromáticos
- 3) Derivados halogenados de hidrocarburos ciclodiénicos

Esta clasificación se basa en la estructura de hidrocarburos del que deriva cada insecticida (Jiménez, 1994).

1. Alicíclicos:

El principal representante de este grupo es el hexaclorociclohexano o Lindano (γ -BCH). Su estructura se muestra en la Figura 1, este compuesto es fabricado por medio del tratamiento del benceno con cloro en presencia de luz ultravioleta, sin catalizadores; teóricamente es una mezcla de ocho isómeros y cuando se presenta en forma de grado técnico (compuesto crudo) se pueden encontrar cinco isómeros que son el alfa, beta, gamma, delta y epsilon además de contener cantidades menores de subproductos como el heptaclorociclohexano y el octaclorociclohexano (Cremllyn, 1995). Debido a la orientación espacial de los enlaces cloro-carbono, de estos ocho isómeros sólo el llamado gamma o lindano (en honor a Van der Linden, quien lo descubrió en 1912), tiene actividad insecticida (Barberá, 1989). Las características físicas y químicas de este compuesto se muestran en el Anexo III.

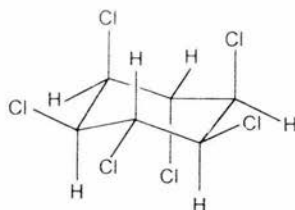


Figura 1. Formula desarrollada del Lindano.

2. Aromáticos:

El compuesto más importante de este grupo es el diclorodifeniltricloroetano o DDT (Figura 2). El producto de grado técnico es una mezcla compleja de compuestos; de ellos, sólo el isómero llamado p,p'-DDT, que constituye aproximadamente el 72% de la mezcla, posee propiedades insecticidas importantes. Las propiedades químicas y bioquímicas del DDT se deben a la presencia del anillo aromático clorado y al grupo triclorometilo. El DDT es muy estable química y bioquímicamente pero, en diversas circunstancias; incluyendo la biotransformación en la mayoría de los organismos, se convierte en un derivado conocido como p,p'-DDE o DDE, el cual carece de propiedades insecticidas, pero es más estable y persistente que el DDT. Otro de los metabolitos del DDT es el p,p'-DDD o DDD, tiene propiedades insecticidas. Las propiedades fisicoquímicas de los análogos DDE y DDD son similares a las del DDT. En el Anexo III, se muestran las características para cada uno de los compuestos señalados anteriormente (Bejarano, 1994; CICOPLAFEST, 1998).

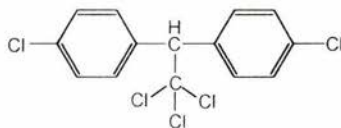


Figura 2. Formula desarrollada del DDT.

3. Ciclodiénicos:

Los compuestos ciclodiénicos son un grupo de hidrocarburos cíclicos sintéticos. La principal característica química de este grupo es la existencia de

un puente endometilénico, son químicamente estables, pero en presencia de peróxidos del ambiente y de los organismos se oxidan, para transformarse en su correspondiente epóxido; por ejemplo el heptacloro se transforma en epóxido de heptacloro, dieldrín y endrín son los epóxido derivados del aldrín e isodrín respectivamente; los insecticidas de mayor toxicidad en este grupo son el epóxido de heptacloro y el endrín (EPA, 1995; INE, 1996). La Figura 3 muestra la estructura del aldrín, uno de los representantes de este grupo. Las características fisicoquímicas de los compuestos anteriores se muestran en el Anexo III.

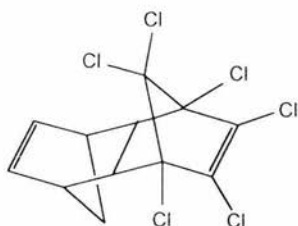


Figura 3. Formula desarrollada del Aldrín.

2.2.2. Propiedades físicas y químicas

Los plaguicidas organoclorados son sustancias de amplio espectro cuya propiedad más destacada es su alta estabilidad química; por lo tanto, su degradación es muy lenta aún en condiciones muy extremas. Tienen un tiempo de vida media superior a los diez años y en muchos casos sus productos de degradación parcial son más estables que el compuesto original (Viveros, 1990).

Son sustancias volátiles que fácilmente se evaporan. A mayor volatilidad aumenta su potencial de evaporación dentro de la atmósfera y si son persistentes pueden moverse a grandes distancias.

Además son muy solubles en grasas y prácticamente insolubles en agua (López, 1996). Esto les permite almacenarse en los tejidos ricos en grasas de los seres vivos y adherirse a las partículas suspendidas del agua, a los sedimentos del fondo de los sistemas acuáticos y a la materia orgánica del suelo (Pinto y col., 1990; Hernández y Pérez, 1995).

Debido a las características anteriormente señaladas tienden a bioconcentrarse, bioacumularse y biomagnificarse a lo largo de las cadenas tróficas; pueden permanecer como residuos en los diferentes sustratos y en los alimentos del hombre.

El término bioconcentración se usa para referirse al proceso específico por el cual la presencia de un compuesto químico comienza a elevarse en el medio que rodea a un organismo (Kamrin, 1997; Contreras, 2003). Depende principalmente de la naturaleza química del compuesto, la cantidad que está en contacto con el organismo y las velocidades de absorción y excreción del tóxico (Tomkins and Barnard, 2002).

La bioacumulación es un proceso selectivo por el cual hay incremento en la concentración de un compuesto químico en un organismo vivo, en cantidades más altas que el medio circundante (Contreras, 2003). Las propiedades para que un plaguicida sea bioacumulable son; baja solubilidad en agua, elevada liposolubilidad y alta estabilidad en condiciones de hidrólisis, luz, calor y presencia de microorganismos (Alpuche, 1991).

Finalmente la biomagnificación describe el proceso que resulta de la acumulación de un compuesto químico en un organismo, en niveles más altos que los encontrados en su propio alimento. Esto ocurre cuando dichas

sustancias incrementan su concentración paulatinamente y se mueven a través de la cadena alimentaria hasta llegar a niveles superiores de la misma. Como regla general los crustáceos (langosta, camarón, etc.), moluscos (almejas, ostiones, etc.) y peces son los más sensibles hacia los plaguicidas clorados seguidos por los anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Armienta, 1974). La Figura 4, muestra el orden de sensibilidad de los animales hacia los plaguicidas. Las propiedades físicas y químicas de los organoclorados tienen que ver con su dispersión en el ambiente y el mundo (Kamrin, 1997).



Figura 4. Orden de sensibilidad de diferentes grupos de animales hacia los plaguicidas (Armienta, 1974).

2.2.3. Toxicología

La mayor parte de estos plaguicidas se emplean como insecticidas y es una característica común en ellos, su alta toxicidad (Albert, 1997; Sánchez, 2003; Enciso, 2003).

Existen dos tipos de toxicidad: aguda y crónica.

La intoxicación aguda se manifiesta después de que un organismo estuvo en contacto con el compuesto tóxico, generalmente en grandes cantidades de

manera repentina y rápida y se clasifica como accidental, intencional y ocupacional. Los efectos de la intoxicación crónica se manifiestan a largo plazo debido al contacto continuo con pequeñas cantidades de compuestos químicos que se encuentran principalmente en el aire, agua y alimentos (Wolff *et al.*, 1993; Faustini, 1993; Horst, 1993).

La intoxicación crónica por plaguicidas organoclorados es resultado de su tendencia a la acumulación en los tejidos orgánicos (particularmente aquellos ricos en grasa), su elevada persistencia en el suelo y en los alimentos, así como su capacidad para la biomagnificación en las redes tróficas (Oliveira *et al.*, 1992; Lombera, 1994).

Estos compuestos se absorben principalmente por la piel, aparato digestivo y respiratorio. Con el tiempo tienden a acumularse en los tejidos grasos aumentando progresivamente su concentración conformen avanzan a lo largo de las cadenas tróficas, hasta llegar a los organismos que se encuentran en los niveles más elevados (incluyendo al hombre), alcanzando concentraciones suficientemente altas para provocar daños irreversibles e incluso la muerte (Garabrant, 1992).

Algunos compuestos tienen potencial carcinogénico, teratogénico y embriotóxico o fetotóxico (Blüthgen, 1991). Otros estudios realizados muestran que debido a su lipofilia, los organoclorados pueden ser excretados en la leche materna de mujeres en periodo de lactancia (Bejarano, 1994; Jiménez, 1994).

Entre los efectos que se producen a largo plazo por la exposición prolongada a estos productos se han identificado diversas alteraciones del sistema nervioso central (SNC) y del funcionamiento hepático (McConnell and Hruska, 1993).

El síntoma predominante de la intoxicación aguda es la estimulación del SNC, lo que provoca; cefalea, vértigo, excitabilidad, espasmos musculares, trastornos de la percepción, coordinación y función mental, arritmias cardíacas y en los casos más graves, convulsiones. En estas condiciones, la muerte puede ocurrir por depresión respiratoria. Ocasionalmente se puede originar daño hepático o renal, aunque es posible que esto se deba a los disolventes orgánicos utilizados como vehículos de estos plaguicidas (EPA, 1995; Kamrin, 1997).

Desde el punto de vista toxicológico, en menor o mayor concentración, todos estos compuestos son estimulantes del SNC, respecto a su mecanismo de acción se sabe que originan la liberación de catecolaminas y neuroestimulantes (Rojas *et al.*, 2000).

El cerebro y la médula espinal, se conocen en conjunto como el sistema nervioso central, éste envía señales y se comunica con el resto del cuerpo por medio del sistema nervioso periférico. La actividad del sistema nervioso, básicamente depende de la capacidad de las neuronas para mantener una distribución desigual de iones potasio y sodio a cada lado de la membrana celular. En condiciones de reposo, la concentración de iones sodio (Na^+) dentro de la célula es muy baja en relación con el exterior, en cuanto a los iones potasio (K^+), sucede todo lo contrario. Esta situación se debe a que los iones Na^+ son transportados activamente fuera de la célula, mientras que los iones K^+ se mueven hacia el interior de ésta. La distribución desigual de iones de ambos lados de la membrana celular da origen a un potencial eléctrico. La transmisión del impulso nervioso, por lo tanto, es un proceso eléctrico en el cual la corriente es transportada por los iones (Repetto *et al.*, 1995; Martínez-Tabche, 1999).

Los insecticidas organoclorados, probablemente actúan por la interferencia con la transmisión axonal uniéndose a las lipoproteínas de la membrana nerviosa alterando así la permeabilidad de los iones Na^+ y K^+ y por tanto el equilibrio iónico de los mismos dentro y fuera de la célula nerviosa. Como resultado se producen cambios de conducta, disturbios sensoriales y del equilibrio, actividad muscular involuntaria, temblores, convulsiones, parálisis y depresión de los centros vitales, particularmente los que controlan la respiración (Barberá, 1989; Kirk *et al.*, 1994).

2.2.4. Fuentes de contaminación en el ambiente

Las principales fuentes de contaminación del medio ambiente por plaguicidas incluyen:

Intencionales (aplicación directa).

- ✓ Animales
- ✓ Cultivos
- ✓ Suelos
- ✓ Agua (control de mosquitos, etc.)
- ✓ Uso doméstico.

No intencionales.

- ✓ Desechos industriales
- ✓ Fabricación de plaguicidas
- ✓ Desechos de la industria alimentaria
- ✓ Corrientes de aire, lluvia, nevada, etc.
- ✓ Animales muertos y heces de animales
- ✓ Producción de envases vacíos de plaguicidas en el hogar, campo, etc. (Restrepo, 1992).

2.2.5. Movilidad en el ambiente

La aplicación de plaguicidas organoclorados en el ambiente puede ser realizada por vía aérea; el resto es terrestre, con tractores, mochilas portátiles y bombas de mano. Aunque la concentración más alta de estas sustancias se encuentra en las áreas de aplicación, también se han identificado en sitios remotos donde nunca se han utilizado. Por ejemplo; actualmente se tienen registros de la presencia de DDT en el hielo de la Antártida, en los huevos y grasa de los pingüinos, la grasa de las focas y los osos polares. Esto ocurre porque después de su aplicación, estos compuestos tienden a adherirse a las partículas diminutas que flotan en el aire, siendo posteriormente arrastradas por el viento y precipitadas por la lluvia ya sea al suelo o a los ríos, mares u océanos (Alpuche, 1991; Muir *et al.*, 1992).

Finalmente se acumulan, se degradan y se mueven del medio hacia los organismos invertebrados, distribuyéndose después a otros seres vivos y alterando o destruyendo niveles tróficos completos, eliminando especies a las que no se deseaba controlar, por ejemplo; los depredadores de las plagas, insectos útiles como abejas y algunos peces y aves. Aunque en ocasiones se considere que una plaga esta eliminada con el tiempo se acrecienta el problema, debido a la resistencia que tienden a desarrollar algunos organismos, haciéndose inmunes a la sustancia química que en algún tiempo los eliminó, adquiriendo la capacidad para hacerla inerte y eliminarla metabólicamente (Waldemar, 1986; Kelly and Gobas, 2001).

Otro factor importante a considerar es que los insecticidas organoclorados sufren transformaciones químicas y bioquímicas, por reacciones bióticas y abióticas como resultado se modifica su tiempo de permanencia o el de los productos de transformación originados, es importante tomar en cuenta éste

último punto, debido a que muchos de los productos de degradación parcial son más tóxicos o más persistentes que el compuesto original por lo que pueden permanecer largo tiempo en el medio en el que el compuesto fue aplicado (Costabeber, 2000; Tanabe, 2002; Murayama, 2003). La Figura 5, muestra la dispersión de plaguicidas en el ambiente (Alpuche, 1991).

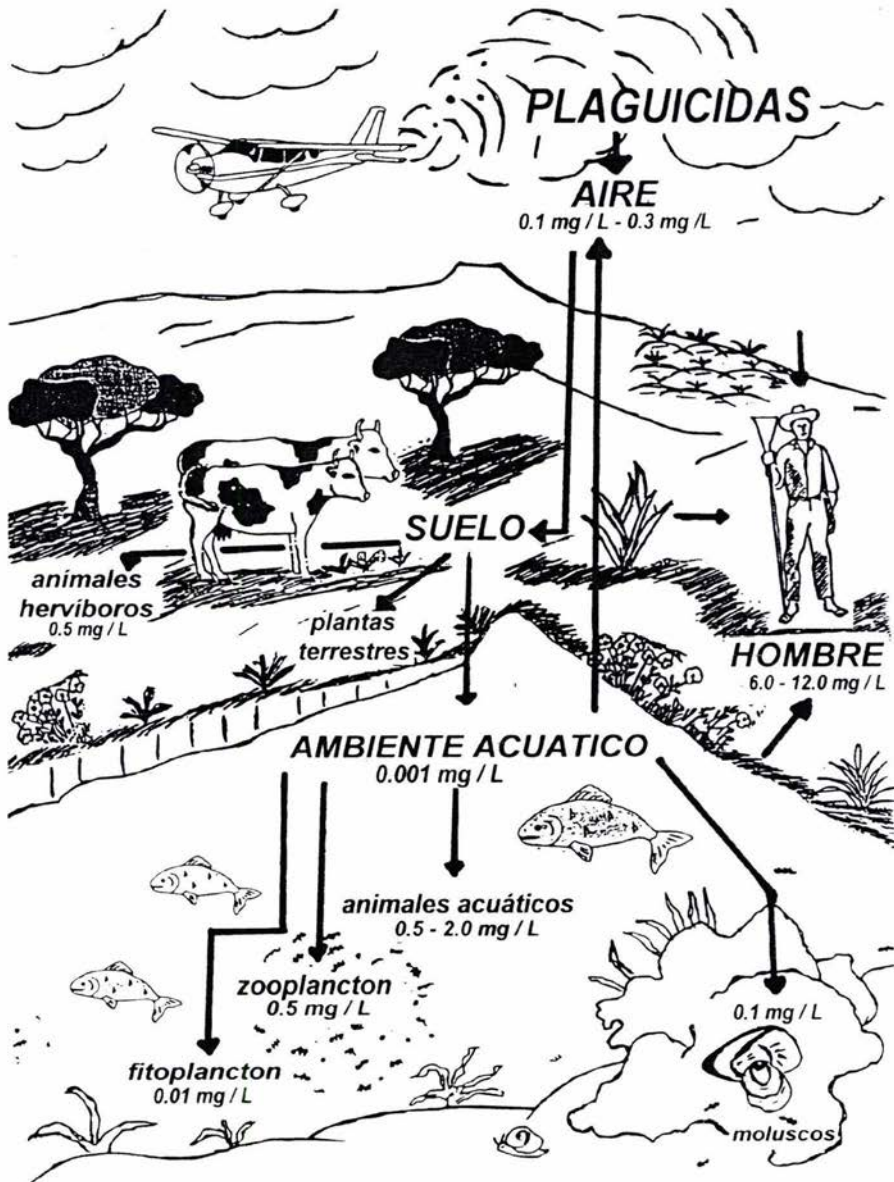


Figura 5. Distribución de plaguicidas en el Ambiente (Alpuche, 1991).

2.2.6. Efectos ecológicos en el agua

En los ecosistemas acuáticos los efectos de estos compuestos dependen de; las características del tóxico, su concentración y de la naturaleza y biología del ecosistema. Los factores limitantes para la oxidación fotoquímica son el oxígeno y la luz, aunque el primero se considera de mayor importancia debido a que es el iniciador de la degradación de los plaguicidas (Ramasamy, 1997).

El mayor problema que surge del uso de plaguicidas organoclorados cuando el agua está contaminada, es que los organismos acuáticos tienen la capacidad de absorber el producto químico del agua y concentrarlo en sus tejidos grasos. Existen evidencias de que el DDT y compuestos similares inhiben la absorción del oxígeno por las branquias lo que ocasiona la muerte de los peces por asfixia. Otro problema originado por las características de estos compuestos y su transferencia en la red trófica, es la contaminación de los alimentos que son de consumo para el hombre y otros animales provocando efectos adversos en la salud (Duarte-Davidson, 1994).

Tanto en México como en otros países del mundo los plaguicidas organoclorados han sido desplazados de manera creciente por otros compuestos como; organofosforados carbamatos y piretroides, menos persistentes y originalmente diseñados para ser menos tóxicos, sin embargo a lo largo del tiempo se ha observado que algunos de ellos presentan mayor toxicidad aguda (Ortega-Ceceña, 1994). En el Anexo IV, se describen algunas características generales de los grupos anteriormente señalados.

2.3. Legislación ambiental en materia de plaguicidas

Se tiene registro desde el año de 1898 de la formulación y el empleo de alrededor de 38 compuestos plaguicida utilizados para la protección de plantas en México, sin que hubiese un informe legal que autorizara dicha acción, tal es el caso del arseniato de plomo, arsénico blanco, ácido cianhídrico, ácido fénico, caldo bordolés y otros (Vega, 1998). Estos compuestos se continuaron utilizando junto con la rotenona, el polvo de piretro y derivados del flúor, sustancias consideradas como plaguicidas de la primer generación.

En 1924 surge la primera legislación de agroquímicos, designada, "La Ley de Plagas", ésta impulsó el uso de plaguicidas como una solución a las pérdidas considerables de productos agrícolas en los campos mexicanos de inicios del siglo XX; desafortunadamente esta Ley enfocaba su atención en la protección de plantas y la pureza de los productos, más que a la seguridad de la especie humana, otras especies y la del ambiente (Vega, 1998).

El 24 de agosto de 1940, se emite la "Ley Fitopecuaria" y para el 22 de julio de 1942 aparece el Reglamento correspondiente, teniendo como objetivo prevenir y controlar las plagas que atacan los campos agrícolas y las instalaciones ganaderas.

Todos los lineamientos que estipulaban el uso de plaguicidas, marcaban de forma general las características sobre las sustancias, dejando a un lado las propiedades químico tóxicas; en esta misma época (los 40's) los plaguicidas se fabricaron y distribuyeron masivamente, se descubren las propiedades plaguicidas del DDT, comenzando entonces la segunda generación de estas

sustancias. En 1946 y 1949 se logra combatir el paludismo y erradicar la malaria respectivamente.

En 1967 la Dirección General de Sanidad Vegetal, de la entonces Secretaría de Agricultura y Ganadería, da el primer paso hacia una regulación sobre los residuos de plaguicidas, ya que el uso incorrecto los organoclorados (endrin y DDT), ponían en peligro el mercado de exportaciones de frutas y legumbres.

Para 1974 se expide una nueva "Ley de Sanidad Fitopecuaria", cuyo objetivo es la protección y conservación de los vegetales y los animales contra la acción perjudicial de plagas y enfermedades. Dos años después, en 1976 emite su reglamento que confiere a la Dirección General de Sanidad Vegetal (SARH) entre sus funciones, el cuantificar residuos de plaguicidas en alimentos vegetales y el análisis para el registro y control de calidad de plaguicidas (Vega, 1998).

En 1975 aparece "El Reglamento de Herbicidas" y en 1979 una publicación oficial sobre "Tolerancias de Residuos de Plaguicidas para Productos Agrícolas" y para 1982 la SARH edita un manual de plaguicidas autorizados. En dichos documentos todavía se recomendaba el uso de plaguicidas eliminados de las listas de países desarrollados, como el caso de los plaguicidas organoclorados; DDT, Lindano, Clordano, Heptacloro, Endosulfán y Endrín (Restrepo, 1992). Es hasta 1980 cuando se legisla en favor de proteger el ambiente, pero a pesar de los inconvenientes de aplicar los productos químicos plaguicidas, la producción y venta para el país ha ido en aumento. De 1980 a 1988 las importaciones de plaguicidas alcanzaron un promedio anual de 16 mil toneladas, con un valor de 80 millones de dólares cada año (Restrepo, 1988).

En marzo de 1988 se publica el "Catálogo Oficial de Plaguicidas" que es una síntesis de contenidos de la información de las sustancias, el cual se fue actualizando periódicamente. Para 1992 aparece la segunda versión del Catálogo. Para la década de los 90, las autoridades encargadas de controlar todo lo referente a plaguicidas en México son las secretarías de: Hacienda y Crédito Público (SHCP); Trabajo y Previsión Social (STPS); Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (actualmente SAGARPA); Comercio y Fomento Industrial (SECOFI); Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, actualmente SEMARNAT); Salud (SSA); Comunicaciones y Transportes (SCT); y Marina (SEDEMAR), así como la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST).

Cada institución es responsable del control de plaguicidas en sus diferentes etapas o ciclos de vida como serían su fabricación, comercialización, venta, transporte, uso y disposición final de los desechos y contenedores. En el Anexo V, se señala la función de cada una.

La CICOPLAFEST fue creada a través del decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el día 15 de octubre de 1987, esta comisión esta conformada por: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE, actualmente SEMARNAT), Secretaría de Salud (SSA), SAGARPA, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y Secretaría de Comunicaciones y transportes (SCT), (SEMARNAP-INEGI, 1997).

La Comisión intersecretarial tiene como objetivo central realizar actividades coordinadas de regulación y control de plaguicidas, fertilizantes y sustancias

tóxicas, así como agilizar la expedición de registros y autorizaciones de importación de los mismos, asegurando que los productos cumplan con los requisitos internacionales de calidad, al mismo tiempo que evita el uso en México de sustancias de alto riesgo que puedan causar daño al ambiente o a la salud de la población.

El 27 de octubre de 1988 se publicó en el DOF el reglamento interno de la CICOPALFEST en el cual se encuentran contenidos los lineamientos que la comisión deberá de seguir para dar cumplimiento a sus objetivos de creación.

La CICOPALFEST incluye en su estructura y funcionamiento la participación de otros sectores interesados, dentro de un Comité Consultivo, para facilitar el cumplimiento de las disposiciones de la nueva Ley Federal de Metrología y Normalización, relativas a la emisión de Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) que integran los contenidos básicos de las Normas Técnicas Sanitarias (NTS's) en materia de productos químicos elaborados conjuntamente con los industriales y el apoyo de otros sectores como el académico. Algunos ejemplos de estas normas se enlistan en el Anexo VI.

Actualmente los plaguicidas se encuentran regulados por disposiciones ambientales, sanitarias, fito y zoonitarias, laborales y de autotransporte. Así mismo, de manera indirecta diversas disposiciones aduanales y de comercio exterior establecen disposiciones que deben ser observadas en el manejo de plaguicidas. Estas leyes, reglamentos y normas son las siguientes:

1. Leyes y Reglamentos¹.
 - ✓ Ley Aduanera
 - ✓ Ley de Comercio Exterior

- ✓ Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal
 - i. Reglamento de Autotransporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos
- ✓ Ley Federal Del Trabajo
 - i. Reglamento General de Seguridad e Higiene en el trabajo
- ✓ Ley Federal de Sanidad Animal
- ✓ Ley Federal de Sanidad Vegetal
- ✓ Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
 - i. Reglamento en Materia de Impacto Ambiental
 - ii. Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos
- ✓ Ley General de Salud
 - i. Reglamento en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos Productos y Servicios.

2. Normas Oficiales Mexicanas en materia:

- a) Ecológica
- b) Sanitaria
- c) Zoosanitaria
- d) Fitosanitaria
- e) Higiene y seguridad industrial
- f) Transporte

El Catálogo Oficial de Plaguicidas, publicado anualmente por la CICOPLAFEST, contiene la lista y las especificaciones de uso de los plaguicidas autorizados y su categoría toxicológica; así como aquellos que son restringidos o prohibidos en México. En el Cuadro 3, se presenta la lista de compuestos señalada anteriormente.

¹ Cortinas y Ordaz, 1996; Gaceta ecológica, 1997; Cortinas, 1998

Cuadro 3. Plaguicidas prohibidos (*) o restringidos () en México (DOF, 1991; CICOPLAFEST, 1994).**

<i>Plaguicidas organoclorados cuyo uso y / o venta esta prohibido o restringido.</i>	
<i>Plaguicida</i>	<i>Causas de las restricciones.</i>
Aldrin *	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 del isómero gama, debido a que presenta riesgo para la salud y carecen 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 Biomagnificación. Desarrollo de persistencia en plagas.
Dieldrín *	Insecticida tóxico para los peces y vida silvestre. Persistente y Bioacuamulable.
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.

En el marco internacional México se ha adherido o ha suscrito los siguientes lineamientos y convenios aplicables a los plaguicidas:

Código Internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma 1985.

El Código tiene como objetivos generales; enunciar las responsabilidades y establecer normas de conducta de carácter voluntario para todas las entidades públicas y privadas que intervienen o influyen en la distribución y utilización de plaguicidas y fomentar la cooperación entre los gobiernos y los países exportadores e importadores, para promover prácticas que aseguren el uso eficaz y seguro de los plaguicidas, reduciendo al mínimo sus riesgos para la salud y el ambiente, que pueden derivar de una manipulación o utilización impropias (SEMARNAP-Serie 4, 1996).

Directrices de Londres para el intercambio de información acerca de productos químicos objeto de comercio Internacional. Enmendada en 1989.

Su objetivo es auxiliar a los gobiernos en actividades encaminadas a incrementar la seguridad en relación con los productos químicos (incluyendo a los plaguicidas) en todos los países mediante el intercambio de información sobre éstos. Establecen las Bases del Procedimiento de Información y Consentimiento Previos (PICP), para facilitar a los gobiernos importadores la decisión relativa a aceptar o rechazar la importación de sustancias prohibidas o severamente restringidas en el país exportador por motivos de salud o ambientales (Restrepo, 1992).

Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Naciones Unidas 1989.

Sus objetivos son: Reducir el movimiento transfronterizo de desechos sometidos al Convenio a un mínimo compatible con la gestión eficiente y ambientalmente racional de los mismos. Reducir al mínimo la cantidad y toxicidad de los desechos peligrosos generados y garantizar su manejo ambientalmente racional tan cerca como sea posible de la fuente de generación. Asistir a los países en desarrollo en el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y de otro tipo que generen (SEMARNAP-INEGI, 1997).

Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, 1987.

Establece como objetivo proteger la capa de ozono, adoptando medidas preventivas para controlar las emisiones mundiales de las sustancias que la agotan. El protocolo se aplica en el marco del Convenio de Viena, el cual adoptó en la reunión de las partes la incorporación en la lista de sustancias al plaguicida bromuro de metileno, teniendo los países en desarrollo como compromiso la congelación de su empleo para el año 2002 a los niveles promedio de 1995 a 1998 (Ongley, 2001).

Agenda 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo, 1992.

En su capítulo 19, sobre el manejo sustentable de las sustancias químicas, la Agenda 21 propone el desarrollo de seis áreas programáticas que incluyen: La expansión y aceleración de la evaluación internacional de los riesgos de los productos químicos. La armonización de la clasificación y etiquetado de los productos químicos. El intercambio de información sobre productos químicos

tóxicos y el riesgo que entrañan los productos químicos. La organización de programas de reducción de riesgos. El fomento de la capacidad y los medios nacionales para la gestión de los productos químicos. La prevención del tráfico ilícito de productos tóxicos (SEMARNAP-Serie 4, 1996).

Plan Integral Ambiental Fronterizo 1992-1994 / Programa Frontera XXI.

En el marco del Convenio de Cooperación Ambiental suscrito con los Estados Unidos en La Paz, Baja California en 1983, el Programa Integral Ambiental Fronterizo (PIAF) establece como objetivo proporcionar protección a largo plazo a la salud humana y a los ecosistemas naturales en la frontera de México y los Estados Unidos. El PIAF incluyó como una de las metas, el intercambio de información sobre las implicaciones del uso de plaguicidas, así como el desarrollo de programas de cooperación para ayudar a la capacitación de agricultores, fumigadores y distribuidores acerca del uso y disposición adecuados de los productos químicos empleados en la agricultura, además de trabajar conjuntamente en el análisis de productos químicos, capacitación de especialistas y el manejo de programas bilaterales de garantía de calidad. En la actualidad, el PIAF se ha transformado en el programa Frontera XXI (SEMARNAP-INEGI, 1997).

Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), 1994.

En lo referente a las medidas de normalización, el Tratado establece las funciones, integración mecánica y calendario del Comité de Medidas Relativas a la Normalización, señalando entre los asuntos a considerar, los relativos a: criterios para la evaluación de daños potenciales de ciertos bienes al ambiente; la metodología para la evaluación del riesgo; los lineamientos para realizar pruebas de sustancias químicas, incluidas las de tipo industrial y las de uso agrícola, farmacéutico y biológico (SEMARNAP-Serie 4, 1996).

Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas, 1995.

La resolución permite sentar las bases de cooperación regional para dar cumplimiento a los compromisos contraídos en el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte relacionados con el TLC, en respuesta de las disposiciones contenidas en el capítulo 19 de la Agenda 21 de las Naciones Unidas, sobre el manejo sustentable de las sustancias químicas. El principio de información y consentimiento previos (PIC), es un componente importante del Código de Conducta. La aplicación del principio de PIC significa lo siguiente: " Los plaguicidas prohibidos o severamente limitados por razones relacionadas al procedimiento de información y consentimiento previos. Ningún plaguicida que pertenezca a estas categorías deberá exportarse a un país importador que participe en el procedimiento de PIC, contraviniendo la decisión que el país halla adoptado..." La aplicación del principio de PIC es competencia conjunta de la Organización de las Naciones Unidas (FAO) y del registro internacional de productos químicos potencialmente tóxicos identificados en la decisión 18/32 del Consejo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/ Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos (PNUMA/RIPQPT) en mayo de 1995. Dentro de sus planes de acción se encuentra la eliminación de 12 compuestos orgánicos persistentes (Ver Cuadro 4), los plaguicidas sometidos actualmente a examen nacional en el marco PIC son los siguientes:

Cuadro 4. Compuestos orgánicos persistentes, sometidos a examen nacional para su eliminación (FAO, 1990).

Aldrín	DDT	Dieldrín
Dinoseb	Fluoroacetamida	HCH (isómeros mixtos)
Clordano	Cihexaestean	EDB
Heptacloro	Clordimeformo	Compuestos de mercurio

Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

La OCDE establece como objetivos básicos: la clarificación de los problemas económicos, ambientales y sociales, a través de análisis cualitativos y cuantitativos realizados en sus países miembros; intercambiar información de cómo los problemas han venido siendo abordados en cada país, para que las experiencias de unos puedan servir de apoyo a las acciones de otros; hacer que los países estén alertas al impacto de sus acciones en los otros; investigar para encontrar estrategias o soluciones comunes; analizar y evaluar la efectividad de las políticas económicas, sociales y ambientales de sus países miembros. Entre las actividades que se desarrollan en el área ambiental, se encuentran las relativas a sustancias químicas, entre la que destacan las que promueve el Foro de Plaguicidas. De particular interés, son las actividades relacionadas con el análisis de los procesos de registro de los plaguicidas; la armonización de la clasificación, etiquetado, lineamientos de prueba y principios aplicados a los plaguicidas; así como la reducción de sus riesgos (Ongley, 2001).

3. CROMATOGRAFÍA DE GASES

La cromatografía es una técnica muy utilizada para separar, identificar y determinar los componentes químicos de una mezcla, aprovechando las propiedades físicas y químicas, así como las distintas velocidades con que se desplazan a través de una fase estacionaria cuando son transportados por una fase móvil, siendo estas dos fases mutuamente inmiscibles (Skoog, 1997). El Cuadro 5, muestra la clasificación de la cromatografía de acuerdo al tipo de fase móvil.

Cuadro 5. Clasificación de la cromatografía de acuerdo al tipo de fase móvil.

Cromatografía	Gases	Gas-Líquido (GLC)
		Gas-Sólido (GSC)
	Líquidos	Líquido-Líquido (LLC)
		Líquido-Sólido (LSC)
		Intercambio Iónico (IEC)
		Exclusión (EC)

La cromatografía de gases (GC) es una técnica analítica utilizada para la separación, identificación y cuantificación de componentes de una muestra que pueden ser orgánicos e inorgánicos, térmicamente estables y volátiles, basada en la diferencia de velocidades de migración al ser arrastrados por un gas inerte a través de una columna que contiene la fase estacionaria. La cromatografía gas-líquido (GLC) lleva a cabo la separación por medio del reparto de los componentes de una mezcla química, entre una fase gaseosa

que fluye (móvil) y una fase líquida estacionaria sujeta a un soporte sólido (Willar, 1991). La mezcla por separar (soluto) se evapora y se hace pasar a lo largo de una columna (fase estacionaria) a través de una superficie absorbente o adsorbente. El arrastre de la muestra se lleva a cabo por medio del flujo de un gas inerte (gas de acarreo o fase móvil) cuya función consiste en transportar los vapores del soluto a lo largo de la columna. Los distintos componentes de la muestra se desplazan dentro de la columna a velocidades diferentes y bajo determinadas condiciones se separan entre si (Skoog, 1997).

El cromatógrafo de gases consiste en varios módulos básicos ensamblados para un gasto o flujo constante del gas transportador (fase móvil). Contiene una fuente regulable del gas de acarreo, un sistema de introducción que permite la entrada de vapores de la muestra a través de la corriente de gas que fluye, una columna que separa los componentes de la mezcla con una longitud determinada (fase estacionaria), una fuente que regula la temperatura apropiada de la columna, un detector que genera y envía una señal eléctrica proporcional a la cantidad de componentes de la muestra conforme eluyen de la columna y un registrador que mide la señal del detector. Los módulos del instrumento se muestran en el Figura 6 (Best & Dawson, 1993).

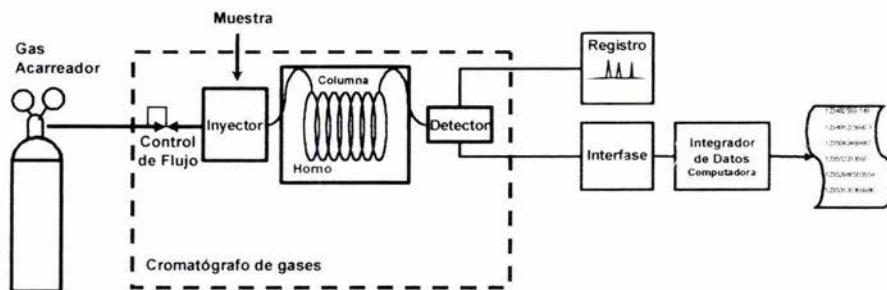


Figura 6. Componentes del cromatógrafo de gases (Best & Dawson, 1993).

El registro de un análisis por GC se llama cromatograma y generalmente tiene una serie de señales que corresponden a cada uno de los componentes de la muestra. El tiempo que transcurre desde la inyección de la muestra hasta la aparición del vértice de cada señal se conoce como *Tiempo de Retención* del componente (Figura 7); cada componente tiene un tiempo de retención característico bajo las condiciones particulares a que se ha sometido. Los tiempos de retención son los parámetros que se utilizan en la identificación de los componentes, por lo que permiten hacer un análisis cualitativo de la muestra.

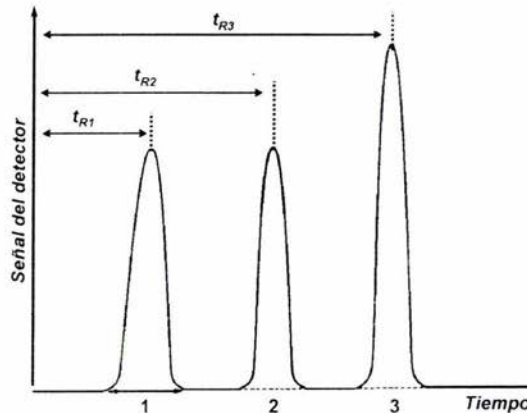


Figura 7. Cromatograma que muestra los tiempos de retención (t_R) de los componentes 1, 2 y 3 (Braithwaite and Smith, 1996).

Para lograr un buen análisis la introducción de la muestra debe hacerse teniendo en cuenta los siguientes factores:

1. La muestra debe llegar al principio de la columna como un solo bloque, es decir de una manera prácticamente instantánea.
2. Utilizar microjeringas que aseguren una buena precisión de lectura de la muestra.

3. El puerto de inyección por donde se introduce la muestra debe tener un buen control de temperatura.
4. El dispositivo de introducción de muestras debe estar construido de tal manera que evite la posible difusión de las mismas en el gas de acarreo. Lo anterior se logra si el diámetro del conducto a la columna es estrecho y de superficie interior sin bordes.

Cuando la muestra llega a la columna, todos los componentes se encuentran en el bloque inicial. A medida que avanza a lo largo de la columna, cada uno a diferente velocidad, sufre una difusión progresiva adquiriendo cada vez más la forma de una curva de distribución gaussiana, más acentuada para los componentes con tiempos de retención mayores (Figura 8). El grado de ensanchamiento de los picos es un parámetro que sirve para medir la eficiencia de una columna.

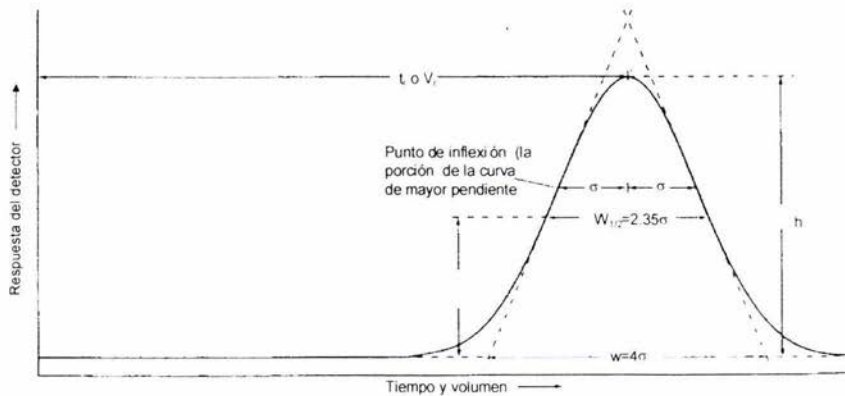


Figura 8. Curva de distribución gaussiana adquirida al aumentar el tiempo de retención de un componente (Skoog *et al.*, 2001).

El gas portador (fase móvil) debe ser químicamente inerte, puede ser helio, argón o nitrógeno, y la elección debe estar basada en el tipo de detector que se utiliza. En la columna (fase estacionaria), el gas portador acarrea a la muestra, separando a los componentes que la conforman con ayuda de la columna de relleno fabricada con tubos de vidrio, de metal (acero inoxidable, cobre o aluminio), o de teflón, con longitud entre 2 y 3 m y diámetros interiores de 2 a 4 mm. Estos tubos se rellenan de forma compacta con el soporte, que es un sólido uniforme, finamente dividido, y que está recubierto de una película (0.05 μm) de fase líquida estacionaria. El soporte sólido de una columna empaquetada sirve para mantener inmóvil la fase líquida estacionaria, exponiendo la máxima superficie posible a la fase móvil, el material de soporte más utilizado se prepara a partir de la tierra de diatomeas de origen natural, que consiste en esqueletos de miles de especies de plantas unicelulares que habitaron lagunas y mares antiguos. Las plantas se nutrieron y eliminaron sus desechos por difusión molecular a través de sus poros. Debido a eso, sus restos son tan adecuados como materiales de soporte, ya que la cromatografía de gases se basa en el mismo tipo de difusión molecular (Skoog, 1997).

La columna capilar puede ser de dos tipos básicos, empaquetada con partículas sólidas que ocupan el total del diámetro de la columna y capilares, con una trayectoria abierta para el flujo, sin restricciones en medio de la columna. Estas últimas se dividen en: columnas tubulares abiertas con pared impregnada (WCOT) y columnas tubulares abiertas con soporte impregnado (SCOT).

Las columnas (WCOT, de Wall-Coated Open Tubular), presentan una fase estacionaria depositada directamente en la pared de la columna sin ningún aditivo que sirva de soporte. Las columnas (SCOT, de Support-Coated Open Tubular), en las que la pared interna está recubierta de una fina película de material de soporte, como tierra de diatomeas, por lo que contiene una

cantidad de fase estacionaria mayor a la de las columnas WCOT (Skoog, 1997).

Los dispositivos de detección en cromatografía de gases deben responder rápidamente a pequeñas concentraciones de solutos a medida que salen de la columna. La concentración de soluto en el gas portador en un instante dado es sólo de unas pocas partes por mil y con frecuencia uno o dos órdenes de magnitud menor. Además, el tiempo necesario para que un componente pase por el detector es típicamente de 1 s (o menos); por tanto, el dispositivo debe ser capaz de responder plenamente durante un período de tiempo.

Los detectores más empleados en cromatografía de gases son:

1. Detector de Ionización de Llama (FID).

La mayoría de los compuestos orgánicos, cuando se pirolizan a la temperatura de una llama de hidrógeno/aire, producen productos intermedios iónicos y electrones que facilitan un mecanismo de paso de corriente eléctrica a través de la llama. Este detector es insensible a gases incombustibles como H_2O , CO_2 , SO_2 y NO_x . Estas propiedades hacen que el detector de ionización de llama sea de uso general para la mayoría de las muestras orgánicas, entre las que hay que incluir las contaminadas con agua y óxidos de nitrógeno y azufre.

Este detector es uno de los más utilizados, debido a su gran sensibilidad, amplio intervalo de respuesta lineal, poco ruido, robustez y sencillez. Generalmente se utiliza en columnas capilares, pero su desventaja es que destruye la muestra.

2. Detector de Captura de Electrones (ECD).

Se utiliza normalmente para analizar compuestos que posean altas afinidades electrónicas, como es el caso de los plaguicidas clorados. Este detector es selectivo en su respuesta, y muy sensible a grupos funcionales electronegativos, tales como halógeno, peróxidos, quinonas y grupos nitro. Es insensible a compuestos como aminas, alcoholes e hidrocarburos. Una de sus ventajas es que no es destructivo.

El efluente de la columna pasa por un emisor beta (un compuesto radiactivo que emite electrones), como el níquel 63 o tritio (absorbido en una lámina de platino o titanio). Los electrones procedentes del emisor ionizan al gas portador, generando una nube de electrones.

En ausencia de especies orgánicas, la ionización origina una corriente constante estacionaria entre un par de electrodos. Sin embargo, la corriente disminuye en presencia de moléculas orgánicas que tienden a capturar electrones. La respuesta no es lineal a menos que el potencial a través del detector sea pulsante.

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El estado de Hidalgo se ubica en la zona centro de la República Mexicana, sus coordenadas geográficas son; al Norte 21°24', al Sur 19°36' de latitud Norte; al Este 97°58'; al Oeste 99°53 de longitud Oeste y cuenta con una superficie de 20,905.12 km² lo que representa el 1.1% de la superficie del país (INEGI, 1995; INEGI-DGG, 1999).

Colinda al Norte con Querétaro de Arteaga, San Luis Potosí y Veracruz-Llave, al Este con Veracruz-Llave y Puebla, al Sur con Puebla, Tlaxcala y Estado de México y al oeste con el Estado de México y Querétaro de Arteaga, Figura 9 (INEGI, 1995).

El territorio hidalguense se forma por cadenas montañosas, lomeríos, llanuras, valles, mesetas y cañones. La Sierra Madre Oriental comprende toda la porción boreal de la entidad, en ella se encuentra la Huasteca Hidalguense con suelos fértiles propicios para actividades agropecuarias, existe el paisaje semiárido del flanco occidental de la Sierra pasando por bosques templados de las partes altas y las selvas perennifolias de las laderas orientales. La Sierra Madre es surcada por los profundos cañones de los ríos "Moctezuma" y "Amajac".

La zona Austral forma parte del eje Neovolcánico y está integrada por llanuras y lomeríos semiáridos con algunas sierras diseminada, destacando la de Pachuca, como una de las más importantes, ya que en ella se localizan los principales yacimientos de plata, oro, plomo, cobre y zinc (CGSNEGI, Carta Fisiográfica).



Figura 9. Ubicación del Municipio de Tizayuca en el Estado de Hidalgo.

4.1. Generalidades del Municipio de Tizayuca, Hidalgo

4.1.1. Localización

Tizayuca es el municipio 069 de los 084 que corresponden a la región de Pachuca; se localiza la sur del Estado de Hidalgo entre los 19°50' latitud Norte y 98°59' de longitud Oeste, a una altitud de 2260 m.s.n.m. y una superficie de 75.05 Km². Pertenece a la provincia de lagos y volcánes del Anáhuac con topografía integrada por grandes sierras volcánicas alternadas con amplias llanuras, vasos lacustres en su mayoría. Colinda al Norte con Tolcayucan y Estado de México y al Sur, Este y Oeste con el Estado de México. Sus principales comunidades son Tepojaco, Emiliano Zapata, Huitzila y Olmos (CGSNEGI: Carta Geológica).

4.1.2. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen modificada por García, prevalece un clima semiseco-templado (Bs1k), con una temperatura media anual de 14.8°C y una precipitación pluvial media anual de 378.8 mm por año, siendo el período de lluvias de junio a septiembre (García, 1973; CNA. Registro de Temperatura y Precipitación).

4.1.3. Suelo

El suelo pertenece a la etapa Cenozoica, período Cuaternario, predominando en la zona el Feozem calcáreo de textura media y fase dúrica (duripan a 30 cm de profundidad), seguido de Feozem ócrico y por último Litosol, por lo que el suelo se cataloga como semidesértico. El suelo de Tizayuca está constituido de

26 % de arcilla, 28 % de limo y 48 % de arena. Orográficamente la mayor parte de este Municipio es plano (INEGI, 2000).

4.1.4. Uso del suelo

El uso de suelo es destinado a la agricultura de riego y temporal, se siembra principalmente maíz, frijol, chile y alfalfa; aunque también se encuentran cultivos de lechuga, zanahoria, tomate verde, cebolla, haba, trigo, avena y cebada. Para el cultivo se emplea el proceso mecánico de labranza alta y media, con desarrollo de cultivos medios y altos y empleando algunos cíclicos. La superficie sembrada es de 2176 ha., para riego son 108 ha. y de temporal 2068 ha.; la superficie cosechada es de 2106 ha., de riego 108 ha. y de temporal 1998 ha. El total de producción de cultivos de ciclo es de 416 toneladas, de las cuales 60 son de riego y 356 de temporal (SAGAR, 2000). Del total de la superficie sembrada en el 2002 se fertilizaron 1990 Ha (INEGI, 2002). Se ha implementado el uso pecuario por el desarrollo de especies forrajeras y por el desarrollo de pastizal (INEGI. Carta de Uso de Suelo; CGSNEGI. Uso Potencial y Agricultura).

4.1.5. Flora y fauna

La vegetación natural es regular por el ambiente semidesértico que se presenta, se compone de nopal, cactus, maguey y pirul. La fauna esta comprendida por ardilla, coyote y serpiente de cascabel y en la ganadería se cría ganado ovino, porcino, bovino de carne y leche y caprino; también se presentan granjas para la crianza de aves de engorda y conejo en baja escala; además se exporta miel y cera de abeja (Síntesis Geográfica de Hgo., 2002).

4.1.6. Hidrología

Tizayuca se localiza en la región hidrológica número 26 correspondiente al Río Panuco en la Cuenca del río Moctezuma y Subcuenca 10 Valle de México. Hay dos ríos principales que cruzan el municipio; el de "Las Avenidas" que nace en la Sierra de Pachuca, con cauce muy deteriorado y en ocasiones de fuertes lluvias provoca inundaciones menores en el área urbana de la parte baja de la ciudad, desemboca en la presa "El Manantial" y de forma artificial hacia el Gran Canal; el segundo río designado "Papalote", continua después de la presa en la planicie de Irolo y se une al interior en la zona de Mogotes finalizando en la laguna de "Zumpango".

Los arroyos que desembocan al río "Las Avenidas" , son corrientes de tipo torrencial, esto quiere decir que no tienen un flujo base, debido principalmente a la escasa precipitación, a la topografía accidentada y a la poca extensión de su curso (1209 Km²).

El régimen hidrológico de los arroyos está condicionado a las características hidrogeológicas del área. Por tanto, los arroyos que son drenados por rocas poco permeables en temporada de lluvias, originan caudales torrenciales de gran irregularidad, con periodos de estiaje muy marcados; y los terrenos con rocas más permeables tienen un caudal de base constante que desaparece lentamente al entrar a la planicie y conforme disminuye el drenaje del agua de lluvia, renovándose en la temporada de precipitación.

La presa " El Manantial" tiene una temperatura de 14.5°C y una precipitación de 531.42 mm en promedio anual.

En la estación de lluvias la mezcla del agua residual más la pluvial fluyen en el río "Papalotes" y en su recorrido parte del agua se infiltra o se evapora en la planicie. El riego se lleva a cabo a través de canales naturales, pero en temporada de sequía es utilizado el caudal del río sin recibir tratamiento previo.

Se han implementado tres plantas de tratamiento para aguas residuales, dos de ellas biológicas y una fisicoquímica con capacidad instalada de 1350 L/seg. y volumen tratado de 0.43 millones de metros cúbicos por año, esta agua es liberada al caudal del río (INEGI, 2002).

4.1.7. Desarrollo industrial

Tizayuca es uno de los siete polos industriales que conforman el sistema metropolitano industrial del sur hidalguense. En el parque industrial de Tizayuca hay diversos tipos de industrias, destacando en la rama de producción los productos lácteos, los durmientes de concreto prensado, para la doble vía México-Tula-Queretaro, resinas y productos químicos, pinturas y solventes, cocinas integrales, plásticos y troquelados, muebles y equipo comerciales, cerámicas, prendas de vestir, envases de vidrio, emulsiones asfálticas, jabones, bombas, impermeabilizantes y herrajes. Fuera del parque industrial operan otras empresas como la metalmecánica, la de muebles y la química (Síntesis Geográfica de Hgo., 2002).

4.1.8. Selección de la zona y los sitios de muestreo

Los puntos de muestreo considerados para la investigación se eligieron por las actividades ejercidas en la zona de estudio, tal es el caso de la agricultura, ganadería e industria, considerando cuatro puntos estratégicos en el recorrido del río "Papalotes".

En el siguiente esquema se presenta la ubicación de los puntos de muestreo en el recorrido del río "Papalotes", Figura 10.

4.1.9. Descripción de cada punto de muestreo

- 1) Presa "El Manantial": En este sitio termina el río de las "Avenidas" y prácticamente nace el río "Papalotes" se desarrollan actividades piscícolas y el agua se distribuye para irrigar la zona agrícola adyacente; se ha considerado un punto importante de muestreo que bien puede servir de punto de comparación con respecto a los demás por ser la naciente del río.

- 2) Emiliano Zapata: Este sitio es el primer punto conforme avanza el recorrido del río se caracteriza por los asentamientos humanos muy marcados en toda su trayectoria, además de localizarse zonas de cultivo principalmente de diversas hortalizas y cereales como avena, cebada y maíz.

- 3) El Llano (Ladrillos): Este punto se seleccionó por considerarlo un trayecto en donde se mezcla el río, con aportes de aguas residuales domésticas provenientes de la misma región de Tizayuca y del complejo industrial que vierte sus aguas de desecho. A lo largo de esta sección del río se encuentra una gran cantidad de materia orgánica (estiércol) proveniente de la Cuenca Lechera de la región, en las zonas cercanas encontramos algunos cultivos de hortalizas, alfalfa y maíz.

- 4) Industrial: La toma de muestras en este punto caracteriza la descarga de las aguas residuales provenientes del parque Industrial de Tizayuca, Hgo., que se incorpora al punto de monitoreo llamado ladrillos sin un tratamiento previo.

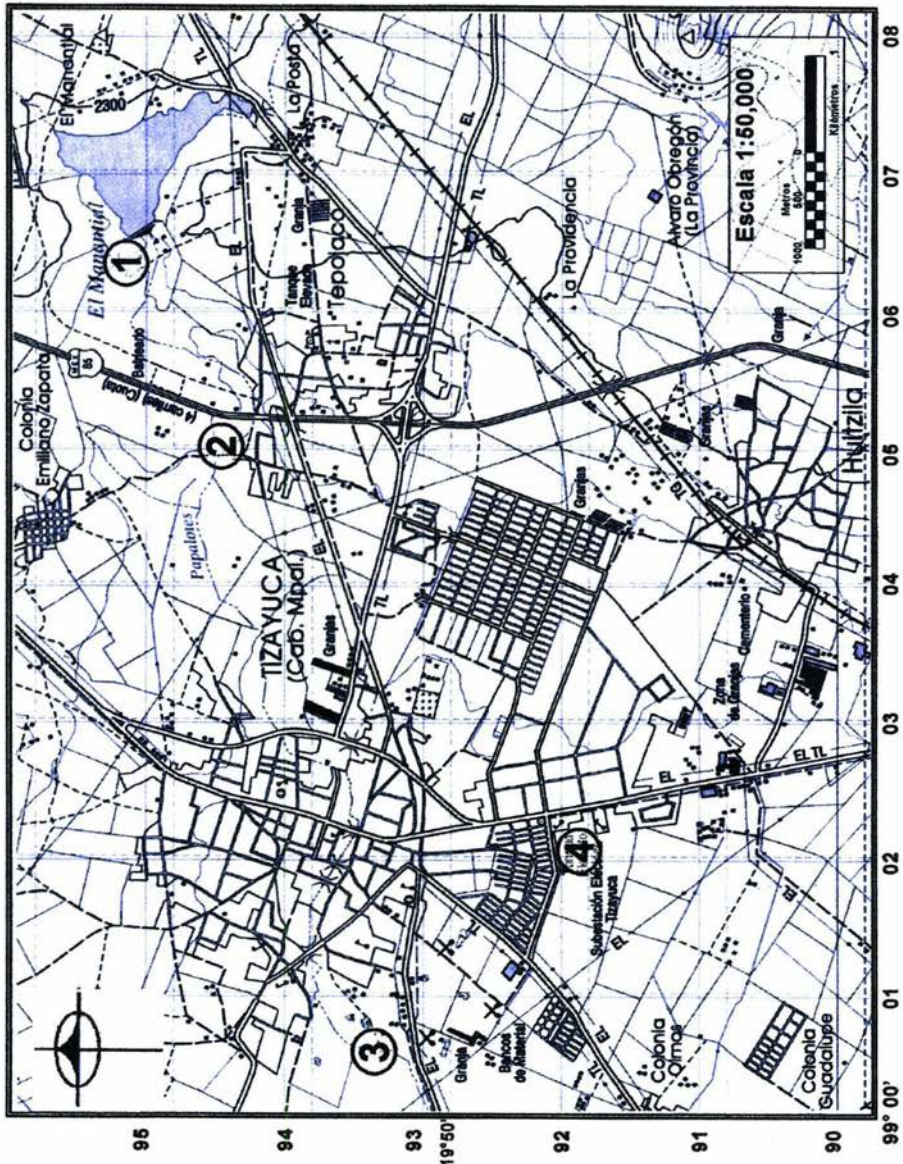


Figura 10. Localización de los sitios de muestreo (1, 2, 3 y 4) en Tizayuca, Hidalgo.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar y cuantificar la presencia de plaguicidas organoclorados en el agua del río "Papalotes" en tres sitios de monitoreo (Emiliano Zapata, Ladrillos y en la Descarga Industrial), así como en la presa "El Manantial", por la técnica de cromatografía de gases utilizando detector de captura de electrones, por el método EPA-Method-508, 1989.

5.2. Objetivos particulares

- Extraer, purificar y concentrar de acuerdo a los métodos de EPA-600/8-80-038, 1989 y de NOM-AA-71-1981 los plaguicidas organoclorados (γ -BHC, Heptacloro, Aldrín, Heptacloro epóxido, Endosulfan I, Dieldrín, DDT, Metoxicloro) de las muestras del agua del río "Papalotes" y la presa el "Manantial" para evaluar su presencia.
- Cuantificar los plaguicidas organoclorados (γ -BHC, Heptacloro, Aldrín, Heptacloro epóxido, Endosulfan I, Dieldrín, DDT, Metoxicloro) por la técnica de cromatografía de gases empleando el detector de captura de electrones, por el método EPA-Method-508, 1989.
- En caso de encontrar plaguicidas organoclorados (γ -BHC, Heptacloro, Aldrín, Heptacloro epóxido, Endosulfan I, Dieldrín, DDT, Metoxicloro) al cuantificar las muestras analizadas comparar la sustancia química encontrada con las que están restringidas por los criterios internacionales, así como los plaguicidas sancionados en México por CICOPLAFEST.
- Proponer alternativas que sustituyan el empleo de sustancias químicas como los plaguicidas organoclorados en Tizayuca, Hidalgo.

6. HIPÓTESIS

El Municipio de Tizayuca Hidalgo, ha mostrado un aumento poblacional, comercial, artesanal y principalmente agropecuario e industrial por lo que en cada actividad se generan desechos que son vertidos a las aguas del río "Papalotes", tal es el caso de las sustancias denominadas plaguicidas organoclorados, compuestos que se caracterizan por ser químicamente estables, persistentes y bioacumulables en el ambiente, así como cancerígenos para el ser humano; y a pesar de no ser constituyentes comunes del agua estos pueden incorporarse a la misma como consecuencia del uso extensivo en la cuenca lechera, por la escorrentía en campos agrícolas, tierras abonadas o trasladarse por el viento y lluvia en la zona; por lo que al evaluar estos compuestos en el agua del río "Papalotes" se espera detectarlos y encontrar niveles más elevados que en el agua proveniente de la presa "El Manantial" lugar considerado como la naciente del río.

7. METODOLOGÍA

7.1. Material, reactivos, equipo e instrumentos

7.1.1. Material

- Pipetas Pasteur
- Pipeta volumétrica, Pyrex de 2 mL
- Vial color ámbar de 2 mL
- Matraz bola, Pyrex de 250 mL
- Microjeringa, Hamilton de 1 μ L
- Cápsula de porcelana, Rosenthal
- Soporte universal
- Pinzas de tres dedos con nuez
- Vaso de precipitado, Pyrex de 1000 mL
- Frascos ámbar de 1000 mL
- Probeta graduada, Pyrex de 1000 mL
- Embudo de separación, Pyrex de 2000 mL
- Matraz Erlen Meyer, Pyrex de 200 mL
- Probeta graduada, Pyrex de 100 mL
- Vaso de precipitado, Pyrex de 250 mL
- Vaso de precipitado, Pyrex de 100 mL
- Fibra de vidrio
- Embudo de vidrio, Pyrex

7.1.2. Reactivos

- Cloruro de mercurio analítico, J. T. Baker
- Cloruro de sodio analítico, J. T. Baker
- Tiosulfato de sodio anhidro, analítico, J. T. Baker
- Sulfato de sodio Anhidro, analítico, J. T. Baker
- Agua destilada
- Sílica gel activado (florisil), grado cromatografico, Merck
- Etanol anhidro, cramatografico J. T. Baker
- Carbón activado analítico, Técnica Química S. A.
- Acetona analítico, J. T. Baker
- Hexano grado plaguicida J. T. Baker
- Isooctano grado plaguicida, J. T. Baker

Patrón de plaguicidas: Pesticide Stándar Mix 1 in isooctano, Perkin-Elmer (PE No. N930-3036

Plaguicida	$\mu\text{g} / \text{mL}$
γ -BHC	0.5
Heptacloro	1.0
Aldrín	1.0
Heptacloro epóxido	1.0
Endosulfan I	1.0
Dieldrín	1.0
p,p'-DDT	2.0
Metoxicloro	10.0

7.1.3. Equipo e instrumentos

- Hielera
- Refrigerador, Nieto
- Rotavapor, Heidolph
- Baño María, Heidolph
- Mufla con control de temperatura, Fisher Cientific
- Balanza analítica, OHAUS Analytical Standar
- Cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones (CGECD) Autosystem Perkin-Elmer

7.2. Método

El desarrollo del presente trabajo está dividido en tres fases: Campo, Laboratorio y Gabinete, cuyas actividades se describen a continuación. Durante todo el proceso se realizó una revisión bibliográfica continua.

7.2.1. Fase de campo

- 1) El muestreo se realizó en cuatro puntos diferentes siguiendo el recorrido del río "Papalotes", en función de las actividades agrícola, ganadera e industrial que originan, la posible presencia de plaguicidas organoclorados.
- 2) La toma de cada muestra se llevó a cabo en la superficie del cuerpo de agua por inmersión permitiendo que el recipiente colector (frasco de vidrio color ámbar), se llenará a su capacidad para obtener una muestra de 1000 mL.
- 3) Los frascos de muestreo fueron sometidos previamente a un tratamiento de limpieza, se les adicionó cloruro de mercurio para evitar la acción bacteriana y tiosulfato de sodio para evitar el cloro residual. Etiquetándose posteriormente con los datos de identificación correspondiente.
- 4) Las muestras se almacenaron en refrigeración a 4°C, para su traslado al laboratorio.
- 5) Se consideró un intervalo de tiempo que no excediera de 3 a 7 días entre la toma de muestra y su análisis.

7.2.2. Fase de laboratorio

- 1) El material de vidrio utilizado en el análisis se lavó con agua caliente y jabón biodegradable, posteriormente se enjuagó con agua destilada, seguido de enjuague con etanol y hexano, finalmente fue secado en horno a una temperatura de 105°C, excepto el material volumétrico.

- 2) Se pasaron 1000 mL de la muestra a un embudo de separación de 2 L, Se realizaron tres extracciones con hexano, empleando 100, 50 y 50 mL respectivamente. Se separó la fase orgánica de la acuosa eliminando esta última, las fases orgánicas se reunieron en un matraz de Erlenmeyer sobre sulfato de sodio anhidro.

- 3) El extracto de hexano se purificó en columna cromatográfica empacada con florisil, pasando cada muestra por la columna ya preparada y recibiendo en un matraz los eluatos.

- 4) Se evaporó el disolvente en rotavapor y se resuspendió en 1.0 mL de isooctano grado plaguicida, la solución final se pasó a viales de vidrio que se almacenaron a 4°C.

- 5) Cada muestra se analizó en un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones (CG-ECD), Modelo Autosystem, marca Perkin-Elmer.

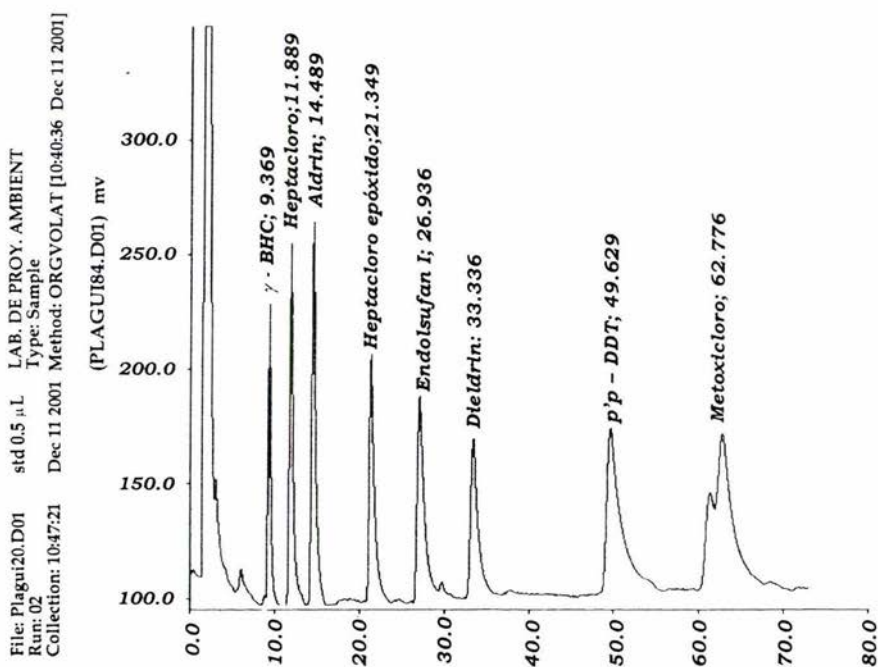
- 6) Se obtuvieron los cromatogramas de las preparaciones de referencia con las siguientes concentraciones de plaguicidas.

Plaguicida	Preparación de referencia A, $\mu\text{g} / \text{mL}$	Preparación de referencia B, $\mu\text{g} / \text{mL}$
γ -BHC	0.025	0.050
Heptacloro	0.05	0.10
Aldrín	0.05	0.10
Heptacloro epóxido	0.05	0.10
Endosulfan I	0.05	0.10
Dieldrín	0.05	0.10
p,p'-DDT	0.10	0.20
Metoxicloro	0.50	1.00

7) Las muestras se introdujeron al CG-ECD con el empleo de una microjeringa de 1.0 mL. Se inyectó una alícuota de 0.5 μL con las siguientes condiciones instrumentales:

- ✓ Temperatura del horno 75°C
- ✓ Temperatura del inyector 200°C
- ✓ Temperatura del detector de 250°C
- ✓ Gas de arrastre; Helio
- ✓ Gas auxiliar; Nitrógeno
- ✓ Columna; Bonded phase fused, Silica Capillary Column, 30 m.; 0.53 mm., diámetro interno 0.8 μm Film Thickness, Methyl Phenyl Cyano Silicone, Cat. No. 403236, PEN° N931-2846

- 8) El siguiente cromatograma muestra la separación de los diferentes plaguicidas organoclorados que se obtuvieron con la preparación de referencia B.



- 9) Se obtuvieron los cromatogramas correspondientes a las muestras para la identificación y cuantificación de cada uno de los componentes. La identificación se realizó 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.

- 10) Se utilizaron las siguientes normas en cada fase del método para el análisis tanto en campo como en laboratorio (enlistadas en cuadro 6).

Cuadro 6. Normas para el análisis de campo y laboratorio.

Análisis	De acuerdo a la norma
Tratamiento para el material de cristalería	Environmental Protection Agency (EPA-600/8-80-038) y EPA-Method (508,1989).
Toma de la muestra	NOM-AA-14-1981.
Conservación de las muestras	Norma Oficial Mexicana (NOM-AA-71-1981).
Extracción	EPA-Method-508,1989 y NOM-AA-71-1981.
Purificación	NOM-AA-71-1981.
Concentración	NOM-AA-71-1981.
Cromatografía de gases	EPA-Method-508,1989 y NOM-AA-71-1981.

7.2.3. Fase de gabinete

- 1) Se organizaron los resultados por estación y fecha de muestreo.
- 2) Se interpretaron los datos obtenidos en el cromatograma en cuanto a la identificación y cuantificación del compuesto plaguicida.
- 3) Se analizó la presencia de plaguicidas organoclorados en los cuatro puntos de muestreo, considerando los criterios nacionales e internacionales para la calidad del agua; SEDESOL, 89 (CE-CCA-001/89), CICOPLAFEST (98) y US EPA (40 CFR Ch.I-7/1/97).

8. RESULTADOS

Tabla 1. Concentración de plaguicidas organoclorados en µg / mL en muestras de agua de Tizayuca, Hgo.

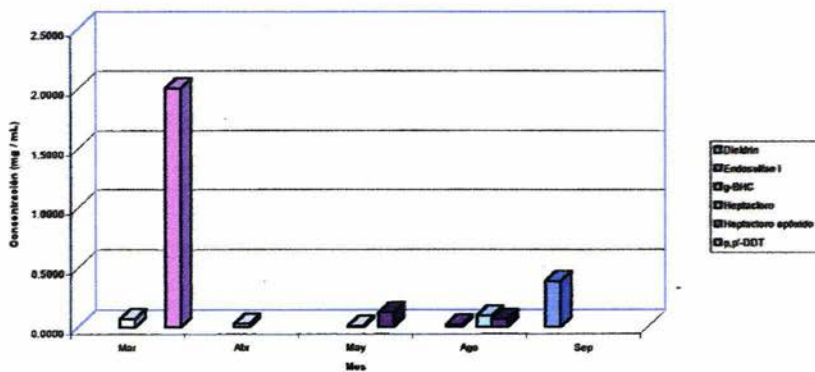
ZONA DE MUESTREO	PLAGUICIDA	RT	Concentración [µg / mL]						
			MAR	ABR	MAY	AGO	SEP	OCT	
"El Manantial" 1	γ-BHC	9.369	0.071608	0.0260912	0.010745	ND	ND	ND	
	Heptacloro	11.889	ND	ND	ND	0.096999	ND	ND	
	Heptacloro epóxido	21.349	ND	ND	0.119055	0.067568	ND	ND	
	Endosulfan I	26.936	ND	ND	ND	0.0200118	ND	ND	
	Dieldrin	33.336	ND	ND	ND	ND	0.381743	ND	
	p,p'-DDT	49.629	2.000347	ND	ND	ND	ND	ND	
"Emiliano Zapata" 2	γ-BHC	9.369	0.014049	ND	ND	ND	0.030707	0.099413	
	Heptacloro epóxido	21.349	0.032461	ND	ND	ND	ND	ND	
	Dieldrin	33.336	ND	ND	0.27606	ND	ND	ND	
"Ladrillos" 3	γ-BHC	9.369	-	ND	ND	-	ND	0.437535	
	Heptacloro	11.889	-	ND	ND	-	ND	14.061205	
	Endosulfan I	26.936	-	0.014049	ND	-	ND	8.561182	
	Dieldrin	33.336	-	0.031397	ND	-	ND	ND	
"Industrial" 4	γ-BHC	9.369	ND	0.0200247	ND	-	ND	ND	
	Aldrin	14.489	0.0512117	ND	ND	-	ND	ND	
	Heptacloro epóxido	21.349	0.218842	ND	ND	-	0.113135	ND	

- = No Determinado

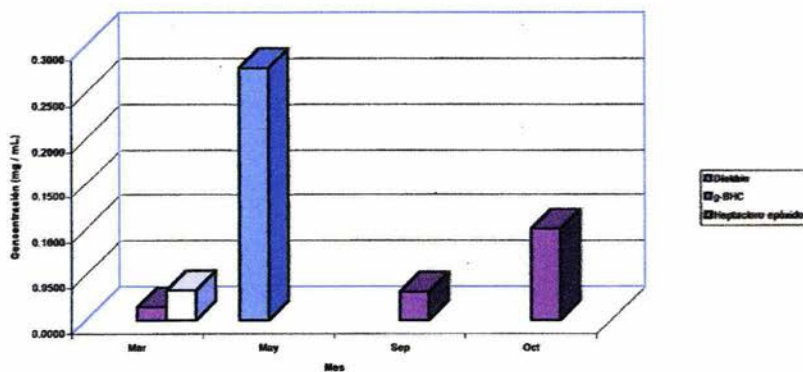
ND = No Detectado

RT = Tiempo de retención

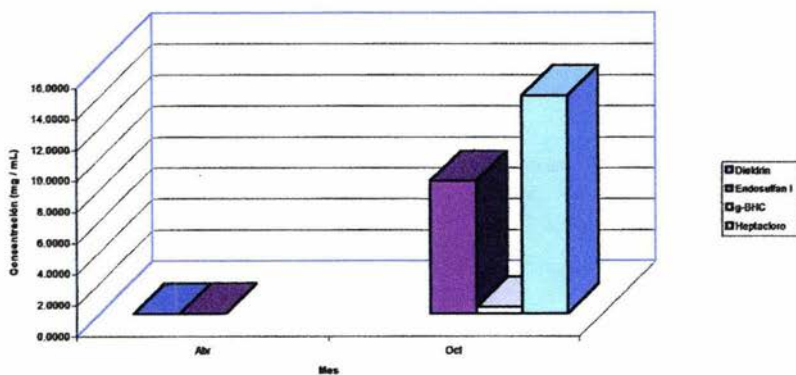
Concentraciones de plaguicidas ($\mu\text{g} / \text{mL}$)
El manantial



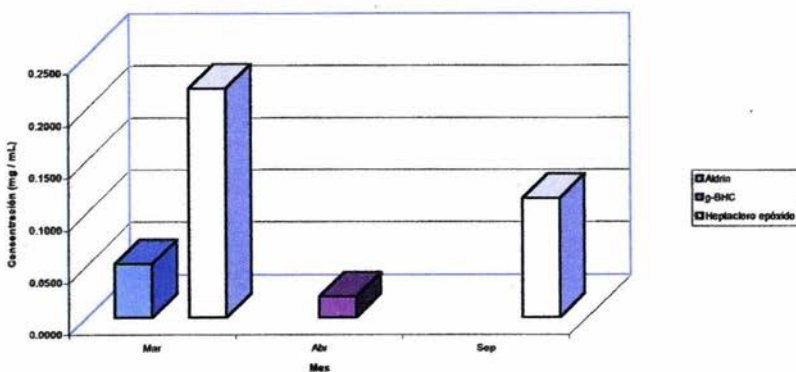
Concentraciones de plaguicidas ($\mu\text{g} / \text{mL}$)
Emiliano Zapata



Concentraciones de plaguicidas ($\mu\text{g} / \text{mL}$)
Ladrillos



Concentraciones de plaguicidas ($\mu\text{g} / \text{mL}$)
Industrial



9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestra la concentración total de plaguicidas organoclorados en agua, para cada estación de muestreo y su correspondiente época de colecta. En ella se resume el comportamiento de los niveles de plaguicidas organoclorados, observándose que no hay un patrón de distribución de los mismos. En general se encontraron valores elevados de plaguicidas en todos los sitios de muestreo, al comparar los resultados obtenidos con los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua Dulce establecido por SEDESOL (98) y US EPA (97), ver Tabla 2.

El compuesto que se presentó en todas las estaciones en las diferentes épocas del año es el BHC- γ , registrándose los valores más alarmantes en la estación 3, en el mes de octubre (0.437535 $\mu\text{g/mL}$), la estación 2 en el mes de octubre (0.099413 $\mu\text{g/mL}$) y la estación 1 en el mes de marzo (0.071608 $\mu\text{g/mL}$), comparados con el Limite Máximo Permisible (0.002 $\mu\text{g/mL}$) establecido por SEDESOL (98) y EPA (97). La elevada concentración de este compuesto en la estación 3, puede deberse a que es una zona donde se mezclan las descargas provenientes; de las áreas de cultivo (ubicadas en las estaciones 1, 2 y 3, localizándose las más importantes en este último punto), de las aguas residuales domésticas (generadas por los asentamientos humanos ubicados en la estación 2) y de las aguas de desecho del complejo industrial (ubicado en la estación 4).

Otro elemento importante es la época de muestreo (anterior a las lluvias), pues el efecto ambiental contribuye al arrastre de contaminantes (Rueda *et al.*, 1997).

Respecto al compuesto heptacloro, este se detectó en la estación 1 en el mes de agosto y en la 3 en el mes de octubre con valores de 0.096999 $\mu\text{g/mL}$ y 14.061205 $\mu\text{g/mL}$ respectivamente, ambos arriba del Límite Máximo Permisible (0.0052 $\mu\text{g/mL}$), establecido por SEDESOL (98) y EPA (97), sin duda la abundancia de este compuesto en el último punto puede atribuirse a su empleo con fines agroquímicos en los diversos cultivos que se ubican en la zona a pesar de que es un compuesto prohibido para su uso en México (DOF, 1991; CICOPLAFEST, 1998; SAGAR, 2000). Es notable también la presencia del epóxido de este compuesto en las estaciones 1, 2 y 4, presentándose el valor más alto en la estación 4 en el mes de marzo (0.218842 $\mu\text{g/mL}$). Esto puede ser ocasionado por la transformación del heptacloro en presencia de peróxidos del ambiente y de los organismos (EPA, 1995; INE, 1996). Es importante señalar que este tipo de metabolito una vez incorporado por los organismos acuáticos suele ser más nocivo que el compuesto original ya que afecta sitios de acción tóxica incluyendo al ADN (Kirk, *et al.*, 1994).

Para el plaguicida organoclorado endosulfan I, se observó la presencia más elevada (8.561182 $\mu\text{g/mL}$) en la estación 3 para el mes de octubre. Comparado con el Límite Permisible (0.00022 $\mu\text{g/mL}$) el valor es muy alto, el predominio de este compuesto se explica al considerar que este es uno de los agroquímicos autorizados para su empleo en México (CICOPLAFEST, 1996).

En lo referente al compuesto aldrín solo se determinó en el mes de marzo para la estación 4, el valor obtenido (0.0512117 $\mu\text{g/mL}$) es mayor que el Límite Permisible (0.003 $\mu\text{g/mL}$). Para su epóxido dieldrín, el valor más alto se registró en la estación 4 en el mes de septiembre (0.381743 $\mu\text{g/mL}$), al igual que todos los compuestos anteriores supera el valor establecido como Máximo Permisible (0.0025 $\mu\text{g/mL}$) por SEDESOL, 1998).

La presencia de estos agentes agroquímicos se explica al considerar que hasta hace unas décadas todavía se usaban en nuestro país, por lo que aun se detectan sus residuos en el ambiente (March, *et al*, 1994).

Con respecto al DDT, se encontró exclusivamente en la estación 1 en el mes de marzo, el valor para este compuesto es de 2.000347 $\mu\text{g/mL}$, mientras que el Limite Máximo Permissible es de 0.0011 $\mu\text{g/mL}$. La elevada concentración de este compuesto puede deberse a su uso en las actividades agrícolas de la región y su largo tiempo de permanencia en el medio (Ramasamy, 1997).

Tabla 2. Criterios Ecológicos de Calidad de Agua para Plaguicidas Organoclorados establecidos por SEDESOL, 89 (*CE-CCA-001/89) y US EPA (**40 CFR Ch.I-7/1/97).

PLAGUICIDAS	AGUA DULCE ($\mu\text{g/mL}$)
γ -BHC	0.002 *, **
ALDRIN	0.003 *, **
DIELDRIN	0.0025 **
ENDRIN	0.00018 **
HEPTACLORO	0.00052 **
HEPTACLORO EPOXIDO	0.00052 **
ENDOSULFANO I y II	0.00022 **
pp'-DDE	0.0011 **
pp'-DDD	0.0011 **
pp'-DDT	0.0011 **

En las graficas 1 a 4 se observa el comportamiento general de los plaguicidas organoclorados para cada uno de los puntos de muestreo en diferentes meses del año, lo que demuestra la presencia de plaguicidas de uso restringido o prohibido en México (Diario Oficial de la Federación, 1991) y en otros países (FAO, 1985; EEC, 1986), recomendados para uso agrícola o en campañas de salud pública (ONU, 1992).

Los plaguicidas de uso restringido que se detectaron son los siguientes; Lindano, Endosulfan I y el DDT, mientras que los prohibidos son; Heptacloro y su epóxido, Aldrín, Dieldrín,.

La presencia del DDT y el Lindano puede ser debida a su uso en Campañas de Salud Pública para el control de vectores transmisores de enfermedades (SEMARNAP-INEGI, 1997).

En general la distribución de los plaguicidas puede explicarse en función de sus características físicas y químicas, ya que son compuestos muy estables e inertes por lo que, si son rociados en áreas de cultivo puede detectarse su presencia en los diferentes sustratos de los ecosistemas. Su concentración en los cuerpos de agua también puede depender de los fenómenos de dilución causados por la lluvia y estar determinados por la presencia de población e industrias cercanas a los mismos. Las concentraciones más sobresalientes de plaguicidas se determinaron en la estación 3, esto puede explicarse porque en este punto en particular se observa una gran cantidad de materia orgánica, proveniente de la actividad ganadera de la región, también son las zonas más cercanas de cultivos; como maíz, alfalfa y otras hortalizas. Es el lugar de mezcla del río "Papalotes"; que es una ruta importante para el transporte de plaguicidas y las aguas de residuos domésticos e industriales.

La ausencia de muestras en algunos meses, no permite detectar diferencias temporales de la presencia de estos compuestos en los sistemas acuáticos de Tizayuca, Hidalgo. Sin embargo, por las altas concentraciones detectadas se considera la existencia de riesgo para los organismos que habitan los cuerpos acuáticos.

10. CONCLUSIONES

- 1) En la mayoría de las muestras analizadas se detectó al menos un residuo de plaguicida organoclorado.
- 2) Los valores más sobresalientes y alarmantes se detectaron en la estación 1 en el mes de marzo para el DDT (2.00347 µg/mL); y en la estación 3 en el mes de octubre, para el heptacloro (14.061205 µg/mL) y endosulfan I (8.561182 µg/mL), lo que indica su uso en los últimos años.
- 3) El plaguicida encontrado con mayor frecuencia en las muestras de agua fue el lindano, seguido del heptacloro y su epóxido.
- 4) Todos los plaguicidas determinados en el presente trabajo están catalogados dentro de los grupos restringido ó prohibido.
- 5) En general todas las muestras analizadas en los diferentes meses y estaciones, rebasaron los Límites Máximos Permitidos por los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua para plaguicidas organoclorados establecidos por SEDESOL, 89 y US-EPA, 97.
- 6) Debido a las características de los plaguicidas organoclorados, su presencia debe regularse para evitar el peligro al medio ambiente, así como problemas para salud humana. Además es claro, por los resultados obtenidos en el presente trabajo, que es importante aplicar otras alternativas para disminuir el uso de estos agroquímicos; tales como el control físico, biológico, cultural y legal, entre otros.

11. PROPUESTAS

Es necesario establecer un programa de monitoreo de plaguicidas organoclorados en los cuerpos acuáticos de Tizayuca, Hgo. y aplicarlo con periodicidad. Esto con el fin de determinar y cuantificar dichos compuestos, y establecer el patrón de su comportamiento en el ecosistema acuático.

Es recomendable ampliar el estudio de evaluación y cuantificación de plaguicidas organoclorados, en otros componentes del medio como sedimentos de los cuerpos acuáticos, plantas y animales tanto acuáticos como terrestres y estratos de los suelos de cultivo.

Se sugiere establecer un mayor número de puntos de muestreo en la presa "El manantial" y en la trayectoria del río "Papalotes", para obtener una mayor recopilación de datos, en cuanto a presencia y cuantificación de plaguicidas organoclorados. Así mismo se hace necesario el muestreo en diferentes niveles de profundidad en la presa "El Manantial".

Existe claramente una necesidad de estudiar la toxicidad de estos compuestos en especies animales acuáticas y terrestres, y en especial para el hombre; en organismos que habitan la zona donde se efectuó el presente estudio .

También es importante realizar programas de evaluación de riesgo que permitan tomar medidas para restringir o prohibir el uso de compuestos químicos organoclorados, en la zona de Tizayuca, Hidalgo.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, O. S. H. 1994. "Protocolo para el diagnóstico de salud integral del Municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit". Instituto Nacional de Salud Pública, Tepic, Nayarit, México".
- Aguilar, A., A. Borell, P.J.H. Reijnders. 2002. "Geographical and temporal variation in levels of organochlorine contaminants in marine mammals". Marine Environmental Research. 53:5, 425-428.
- Albert, L. A., R. Loera, G. L. Alpuche, P.C. Bárcenas, y F. Badillo. 1990. "Los plaguicidas y sus efectos en el ambiente y la salud". Centro de Ecodesarrollo. México. 331 pp.
- Albert L. A. 1997. "Desarrollo de los plaguicidas sintéticos". Curso-Taller, U.A.M. Iztapalapa, México.
- Alpuche, G. L. 1991. "Plaguicidas organoclorados y medio ambiente". Ciencia y Desarrollo. 26:96, 45-55.
- Armienta, A. V. 1974. "Evaluación preliminar de la contaminación por residuos de plaguicidas organoclorados en el sistema de drenaje del distrito de riego No. 10 del estado de Sinaloa". Tesis de la Universidad Autónoma de Sinaloa. 74 pp.
- Arnold, E. 1992. "Pesticides Chemicals and health". Published on Behalf of the British Medical Association. Edit. Tara Lamont, London, 215 pp.

- Barberá C. 1989. "Pesticidas agrícolas" 4ª ed. Edit. Omega, Barcelona. 603 pp.
- Barquero, M. y R, Thiel. 1986. "Residuos de DDT y Bifenilos policlorados en leche humana". Revista Costarricense de Ciencias Médicas. 7:2, 133-136 pp.
- Bejarano, G. F. 1994. "Residuos peligrosos". Unión de Grupos Ambientalistas. IAP. 10 pp.
- Bejarano, G. F. 1999. "Derechos humanos ambientales y plaguicidas químicos". Foro Nacional de Derechos Humanos y Medio Ambiente. 14 pp.
- Belfriod, A. C., M. Van Druenen, M. A. Beek, C. A. M. Van Gestel, B. Van Hattum. 1998. "Relative risks of transformation products of pesticides for aquatic ecosystems". Sci. Tot. Environ. 222:167-183 pp.
- Benítez, B. L. 1990. "La Patología Ambiental, Contaminación Termodinámica y Salud". Ciencia y Desarrollo 16:93, 69-84 pp.
- Best, A. G.] P. Dawson. 1993. "Environmental analysis using gas chromatography". Gas Chromatography". Edited P. J. Baugh. Oxford University Press. New York.

- Blüthegen, H. W. A. 1991. "Basic Terms-Definitions. En Monograph on residues and contaminants in milk and milk products". Internacional Dairy Federation Special Sigue 9101. FIL-IDF. Brussels. Belgium: 2-11 pp.
- Botello, A. V., G. Díaz, L. Rueda, and F.S. Villanueva. 1994. "Organochlorine compounds in oysters and sediments from coastal lagoons of the gulf of México". Bull Environ. Contam. Toxicol. 53:238-245 pp.
- Braithwaite, A. and F. J. Smith. 1996. "Chromatographic Methods" Fifth edition. Kluwer Academia Publishers. 559 pp.
- CGSNEGI. Carta Fisiográfica 1:1000 000
- CGSNEGI. Carta Topográfica 1:50 000
- CGSNEGI. Carta de uso potencial y agricultura 1:1000 000
- CNA. Registro Mensual de precipitación Anual Pluvial en mm. Inédito.
- Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas (CICOPLAFEST) 1994. "Catalogo oficial de plaguicidas". México, 482 pp.

- Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas (CICOPLAFEST) 1996. "Catalogo oficial de plaguicidas". México. 483 pp.
- Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas (CICOPLAFEST) 1998. "Catalogo oficial de plaguicidas". México. 486 pp.
- Contreras, L. C. 2003. "Determination of potentially bioaccumulating complex mixtures of organochlorine compounds in wastewater a review". Environment International. 28:751-759 pp.
- Cortinas, N. C. 1998. "Objetivos de las disposiciones normativas sobre el confinamiento controlado de residuos peligrosos". Gaceta Ecológica-INE-SEMARNAT. México. 47:52-58 pp.
- Costabeber, I., M. Jodral, R. Angulo, M. Valera, y A. Molina. 2000. "Evaluación de niveles de residuos organoclorados en tejido adiposo de residentes en la provincia de Córdoba-España". Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 16:3, 119-126 pp.
- Cremlyn R. 1995. "Plaguicidas modernos y su acción bioquímica". Edit. Limusa, México. 355 pp.
- Diario Oficial de la Federación. Agosto, 1991. "Órgano de Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos" Catálogo Oficial de Plaguicidas; Tomo CDLV No.13. México, 1ra. y 2da. Sección. 228 pp.

- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. 1983. "Cromatografía de gases". Productos. 30 pp.
- Duarte-Davidson, R., S.C. Wilson, y K.C. Jones. 1994. "PCB's and other organochlorines in human tissue samples from the Welsh population: I-Adipose" Environ. Pollut. 84:69-77 pp.
- Enciso, L. A. 2003. "Desprotegen firmas tabacaleras a 30 mil jornaleros expuestos a plaguicidas". La Jornada 10-Febrero; México. 45 pp.
- EPA, 1995. "Diagnóstico y tratamiento de los envenenamientos por plaguicidas". 4ª ed. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, D.C. 186 pp.
- FAO. 1985. "Erosión-induced loss in soil productivity: a research design". M. Stocking. Consultants Working Paper no. 2, Soil Conservation Programme, División de Fomento de Tierras y Aguas, FAO, Roma.
- FAO. 1990. "Código Internacional de Conducta para la utilización y Distribución de Plaguicidas". FAO, Roma.
- Faustini, A., T. D. Forastiere, L. Beta, E.M. Magliola, and C.A. Perucci. 1993. "Cohort study of mortality among farmers and agricultural workers". Med. Lar. 84:31-41 pp.

-
- Franco, G. M. T. 1995. "Análisis de la situación de los niños y jornaleros agrícolas". Primer Foro Regional. Universidad Pedagógica Nacional y Comexani. Colectivo Mexicano de Apoyo a la Niñez. Septiembre. México.
 - Gaceta Ecológica, 1997. "Programa de gestión ambiental de sustancias tóxicas de atención prioritaria". Dirección General de Residuos Materiales y Riesgo. SEMARNAT. México. 45:59-65 pp.
 - Garabrant, D.H., H.J. Held, B. Langholz, J.M. Peters, and T.M. Mack. 1992. "DDT and related compounds and risk of pancreatic cancer". J. Natl. Cancer Inst. 84:761-764 pp.
 - García, E. 1973. "Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la Republica Mexicana)". Instituto de Geografía de la U. N. A. M. México. 249 pp.
 - García, H. R. M. 1997. "Determinación de residuos de plaguicidas organoclorados en leche pasteurizada de vaca de diversas zonas de la República Mexicana". Tesis UNAM ENEP Iztacala, Edo. de México. 79 pp.
 - Gold-Bouchout, G., T. H. Silva, O. P. Zapata. 1995. "Organochlorine Pesticide Residue Concentrations in Biota and Sediments from Río Palizada, México". Bull Environ. Contam. Toxicol. 54: 554-561 pp.

-
- Hernández, H. Y., B. M. E. Pérez. 1995. "El vuelo del mosquito: un debate sobre mosquitos, Avance y perspectiva". CINVESTAV, México. 14:5-15 pp.
 - Horst, O. 1993. "Plaguicidas y Salud en las Américas" División de Salud y Ambiente. Washington, DC., 108 pp.
 - INE, 1996. "Lo que usted debe saber sobre los plaguicidas". Serie plaguicidas 1, SEMARNAP, México, 18 pp.
 - INEGI. Carta de uso del suelo y vegetación 1:1000 000 y 1:250 000
 - INEGI, 2002. Síntesis Geográfica del estado de Hidalgo.
 - Jiménez, R. R. 1994. "Seguridad e higiene en la formulación y en el uso de insecticidas agrícolas". Diciembre, U. N. A. M., México. 174 pp.
 - Jhonston, J. J. 2001. "Pesticidas and wildlife". American Chemical Society. USA. 406 pp.
 - Kamrin, A. M. 1997. "Pesticide profiles, toxicity, environmental impact and fate". Edit. Lewis Publishers. New York. 633 pp.
 - Kelly, C. B. and P. C. F. Gobas. 2001. "Bioaccumulation of persistent organic pollutants in Lichen-caribou-wolf food chains of Canada's Central and Western Arctic". Environ. Sci. Technol. 35:325-334 pp.

- Kirk, T. K., L. B. Janice, and R. W. Setzer. 1994. "Dose-response relationship multistage carcinogenesis: promoters". *Environ. Health Persa. Suppl.* 102:255-264 pp.
- Lombera, M. G. 1994. "Los plaguicidas en México: un problema de salud pública". *Boletín de Morbilidad y Mortalidad.* 1:15, 1-6 pp.
- López, G. E., M. Mendoza, y A. Acosta. 2002. " Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la Cuenca Endorreica del Lago de Cuitzeo, Michoacán". *Gaceta Ecológica* 64:19-34 pp.
- L'vovich, M. I., G. F. White, A. V. Belyaev, J. Kindler, N.I. Koronkevic, T. R. Lee, and G. V. Voropaev. 1995. "Use and transformation of terrestrial water systems". *The Earth As Transformed by Human Action.* Cambridge University Press. Cap.14.
- MacConnell, R. and A. J. Hruska. 1993. "An epidemic pesticide poisoning in Nicaragua: implications for prevention in developing countries". *American Journal Public Health.* 83:11, 1559-1562 pp.
- Matin, M. A. et. al.; 1998. "Organochlorine insecticide residues in surface and underground water from different regions of Bangladesh". *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 69:11-15 pp.
- March, M. I., M. N. Hidalgo, y A. H. A. Esquinca. 1998. "Análisis geográfico para el ordenamiento ecológico del Soconusco y la costa de

Chiapas". Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES), Tapachula, Chiapas, México, 15 pp.

- Martínez-Tabche, L., S. M. Romero, L. E. López, y M. M. Galar. 1999. "Efecto tóxico del DDT, Clordano y agua de la Presa Ignacio Ramírez (México), sobre *Daphnia magna* (Crustacea: Daphnidae)". *Revista de Biología Tropical*. 47:4, 681-690 pp.
- Murayama, H., N. Moriyama, H. Mitobe, H. Mukai, Y. Takase, K. Shimizu, and Y. Kitayama. 2003. "Evaluation of activated carbon fiber filter for sampling of organochlorine pesticides in environmental water samples". *Chemosphere*. 52:825-833 pp.
- Muir, D.C.G. et al.; 1992. "Ocurrence and determination of organic pollutants in surface waters". *J. Sci. Total Environ*. 122:75-134 pp.
- Munnecke, M. D. 1986. "Métodos de desecho de envases y exedentes plaguicidas" Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec, Hidalgo. 21 pp.
- Nayak, A. K., R. Raha, and A. K. Das. 1995. "Organochlorine Pesticide Residues in Middle Stream of the Ganga River, India". *Bull Environ. Contam. Toxicol*. 54:68-75 pp.
- Oliveira V. M. T., L. A. F. Antunes, M. H. P. Pinotti. 1992. "Resíduos de Pesticidas Organoclorados em leite Materno no Municipio de Londrina, Pr.". *Semina: Ci. Biol./ Saúde, Londrina*. 13: 2, 52-57 pp.

- Ongley, E. D. 2001. "Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos, estudio FAO riego y drenaje 55". FAO, Burlintong, Canada, 259 pp.
- Ortega-Ceseña, J. et al. 1994. "El control de los riesgos para la salud generados por los plaguicidas organofosforados en México, retos ante el Tratado de Libre Comercio". Salud Pública. 36:624-632 pp.
- Pinto, M. L., y Col. 1990. "Residuos de plaguicidas organoclorados en leche de vaca y su relación con alimentos para uso animal como fuentes de contaminación". Arch. Med. Vet. 22:2, 359-363 pp.
- Prado, D. G., S. Vega y León, M. González, N. Pérez, G. Urban, R. Gutiérrez, A. Ramírez, y M. Pinto. 1998. "Residuos de plaguicidas organoclorados en leche pasteurizada, comercializada en la Ciudad de México". Arch. Med. Vet. 30:1, 55-65 pp.
- Ramasamy, B. R., and S. Annamalai. 1997. "Pesticide residues in water from river Kaveri, south India". Chemistry and Ecology. 13:223-236 pp.
- RAPAM. 1997. "Boletín de la Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México. DDT y clordano seleccionados por la CCA para elaborar un plan regional de reducción y control". Mayo-Agosto. 14: 2-3 pp.

- Reid, R. S., et al. 2001. "Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: the case of southwestern Etiopía". *Landscape Ecology* 15: 339-355 pp.
- Repetto, M., D. Martínez, y P. Sanz. 1995. "Actualización de la toxicología de los plaguicidas". Edit. Toxicología avanzada Díaz de Santos. Madrid. 601 pp.
- Restrepo, I. 1988. "Naturaleza muerta, los plaguicidas en México". Edit. Océano. México.
- Restrepo, I. 1992. "Los plaguicidas en México". Comisión Nacional de Derechos Humanos. 296 pp.
- Rivera, B. H. 1995. "Manual para cuantificación de plaguicidas organoclorados en agua". Octubre, UNAM, México. 122 pp.
- Rodríguez, L. M. H., E.E.G. Loyola, R.A.F. Betanzos, T. C. Villareal, y B. D. Nielsen. 1994. "Control focal del paludismo. Tratamiento focal usando quimioprofilaxis y rociado intradomiciliario con insecticida para el control del paludismo en el sur de México". *Gaceta Medica de México*. 130:5, 313-319 pp.
- Rojas, R. A., B. M. E. Ojeda, y X. Barraza. 2000. "Malformaciones congénitas y exposición a pesticidas". *Revista Médica de Chile*. 128:399-404 pp.

- Romero, G. V. 1997. "Toxicología de los plaguicidas" II Congreso Mexicano de toxicología, Ponencia U. A. M., México.
- Rueda, L., V. A. Botello y G. Díaz. 1997. "Presencia de plaguicidas organoclorados en dos sistemas lagunares del Estado de Chiapas, México". Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 13:2, 55-61 pp.
- Ruiz F. J. 1991. "Causas y consecuencias de la contaminación de suelos" (mesa redonda) Depto. de suelos U.A.CH., Chapingo, México. 21-42 pp.
- SAGAR, 2000. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I, México.
- Sánchez, R. 2003. "Niños mexicanos encuentran en los campos de E.U. muerte y enfermedad". La Crónica 15-Febrero; México. 42 pp.
- SEDESOL, 1998. "Acuerdo por el que se Establecen los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua". Gaceta Ecológica. (CE-CCA-001/89). 2:6-9 pp.
- SEMARNAP-Serie Plaguicidas 1. 1996. "Lo que usted debe saber sobre los plaguicidas". FAO TCP/MEX/4451. México. 18pp.

- SEMARNAP-Serie Plaguicidas 4. 1996. "Lo que usted debe saber sobre la gestión de los plaguicidas en México". FAO TCP/MEX/4451. México. 18pp.
- SEMARNAP-INEGI. 1997. "Estadísticas del medio ambiente: Informe General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente". México. 461 pp.
- Skoog, A. D. y M. D. West. 1997. "Fundamentos de química analítica". 4ta. Edición, Reverté, Barcelona, 682-689 pp.
- Skoog, A. D., F. H. James and T. A. Nieman. 2001. "Principios de análisis instrumental". 5° edición. Edit. Mc. Graw-Hill. España. 1028 pp.
- Smith, J. E. y J. Helmick. 1993. "Guías para el tratamiento y la disposición de pequeñas cantidades de desechos plaguicidas. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec, México 93 pp.
- Stephenson, G. A. y R. Solomon K. 1993. "Pesticides and the Environment". Department of Environmental Biology, University of Guelph, Ontario, Canada.
- Tanabe, S. 2002. "Contamination and biological impacts of persistent toxic substances in wildlife and humans from Asia-Pacific. In: Proceedings of International Workshop on Effects of Dioxins on Agriculture, Forestry and Fisheries and their Mechanisms of Action on Animals and Fishes". Tsukuba, Japan. 21-35 pp.

- Thiemann, W. 2002, "Contamination by selected chlorinated pesticides in surface water in Hanoi, Vietnam", Hong D. Q. H. *Chemosphere*. 47:357-367 pp.
- Toledo, A. 1994. "Riqueza y pobreza en la costa de Chiapas y Oaxaca". Centro de Ecología y Desarrollo. México. 492 pp.
- Tomkins, A. B., and R. A. Barnard 2002. "Determination of organochlorine pesticides in ground water using solid-phase microextraction followed by dual-column gas chromatography with electron-capture detection". *Journal of Chromatography A*. 964:21-33 pp.
- Turgut, C. 2003. "The contamination with organochlorine pesticides and heavy metals in surface water in Küçük Menderes River in Turkey". *Environmental International*. 29:1, 29-32 pp.
- Turlough, F. G. and R. I. Kennedy. 1992. "Distribution and dissipation of endosulfan and related cyclodienes in sterile aqueous systems: Implications for studies on biodegradation". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 4:2315-2323 pp.
- Uribe, R. T. M. 1997. "Evaluación de los niveles de contaminación por plaguicidas organoclorados en agua y sedimentos de la Laguna de Mecoacán, Tabasco". Tesis UNAM-ENEP Iztacala, Estado de México. 85 pp.

- USA-EPA. 1997. "Water Quality Criteria". USA Environmental Protection Agency, Office Of. Pesticides and toxic Substances. EPA-40CFR ch.I (7-1-97). Washington, D. C., 721-732 pp.
- Valle, V. P. 1991. "Toxicología de alimentos". 2ª ED.; Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Programa de Salud Ambiental y Organización Mundial de la Salud. Metepec Estado de México. 145 pp.
- Vega, L. S. 1985. "Los Plaguicidas organoclorados en México". División de Ciencias Biológicas y de la Salud, U. A. M. Xochimilco, México. 5-10 pp.
- Vega, G. S., J. Reynaga O. 1990. "Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales" Edit. LIMUSA, México. 727 pp.
- Vega y León S., J. S. León D. 1998. "Residuos tóxicos en alimentos". U. A. M., Xochimilco, México, pp.
- Viñas, P. et. al. 2002. "Determination of pesticides in water by capillary, gas chromatography with atomic emission detection". Journal of Chromatography A. 978:249-256 pp.
- Viveros, D. A. y L. A. Albert. 1990. "Estudios sobre plaguicidas en leche materna en México". Ciencia y Desarrollo. 26:91, 83-90 pp.

- Waldemar, F. A. 1986 "Fundamentos toxicológicos de los plaguicidas" Memorias de los talleres sobre plaguicidas, salud y ambiente. Chiapas, México. 61-87 pp.
- Wayland, H. J., and G. A. West. 1991. "Handbook of pesticide toxicology classes of pesticides" vol. 2, Academic Press, Inc. New York. 742 pp.
- Willar, H. 1991. "Métodos instrumentales de análisis" México. Iberoamericana. 568 pp.
- Wolff, M. S., P. G. Tonolio, E. W. Lee, M. K. Rivera y N. Dubin. 1993. "Boll levels of organochlorine residues and risk of breast cancer". J. Natl Cancer Inst. 8: 648-652 pp.
- Zhang, Z., H. Hong, H. Zhou, J. L. Yu, G. Chen, W. X. Wang. "Transport and fate of organic pesticides in the River, Wuchuan Southeast". J. Environ. Monit. 14: 3, 435-441 pp.

13. ANEXOS

Anexo I. Cronología del desarrollo de los plaguicidas.²

PERÍODO	EJEMPLO	FUENTE	CARACTERÍSTICAS
1800-1920	Primeros plaguicidas orgánicos, nitrofenoles, clorofenoles, creosota, naftaleno, aceites de petróleo	Química orgánica, productos derivados de la elaboración de carbón, etc.	Frecuentemente carecen de especificidad y eran tóxicos para el usuario o para los organismos que no eran los destinatarios
1930-1945	Productos orgánicos clorados, DDT, HCCH, Ciclodienos, Clorados	Síntesis orgánica	Persistentes, buena selectividad, buenas propiedades agrícolas, buenos resultados en materia de salud pública, resistencia, efectos ecológicos nocivos
1945-1970	Inhibidores de la colinesterasa, compuestos organo-fosforados, carbama-tos	Síntesis orgánica, buena utilización de las relaciones estructura-actividad	Menor persistencia, cierta toxicidad para el usuario, algunos problemas ambientales
1970-1985	Piretroides sintéticos, avermectinas, imitaciones de las hormonas juvenoides, plaguicidas biológicos	Perfeccionamiento de las relaciones estructura-actividad, nuevos sistemas de selección de objetivos	Cierta falta de selectividad, resistencia, costos y persistencia variable
1985-	Organismos obtenidos por la ingeniería genética	Transferencia de genes para plaguicidas biológicos a otros organismos y a plantas y animales beneficiosos. Alteración genética de las plantas para que resistan mejor a los efectos no deseados de los plaguicidas	Posibles problemas con mutaciones y fugas, perturbación de la ecología microbiológica, monopolio de los productos

² Stephenson y Solomon, 1993.

Anexo II. Volumen usado y ventas de DDT en México de 1988 a 1997.³

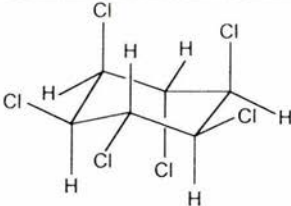
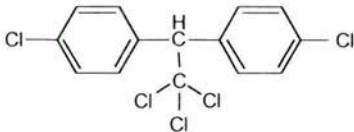
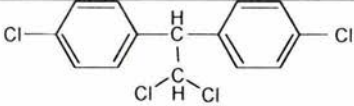
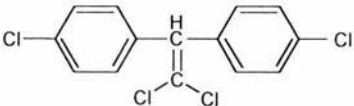
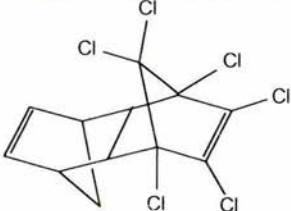
Año	Ventas anuales ⁴ (Ton)	Volumen de DDT rociado (Ton)	Número de casas rociadas	Número de rociamientos
1988	786	7723	565 343	1 130 686
1989	1080	1088	795 816	1 591 653
1990	1717	1293	927 910	1 855 821
1991	1015	1293	943 825	1 887 650
1992	1125	1138	808 298	1 616 597
1993	1743	982	732 990	1 465 980
1994	838	890	663 890	1 327 781
1995	1129	779	581 242	1 162 484
1996	126	0.538	440 306	803 642
1997	21 ⁵	0.477	356 000	712 000

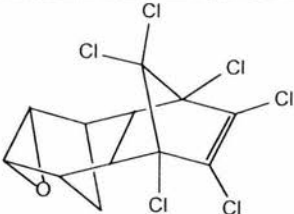
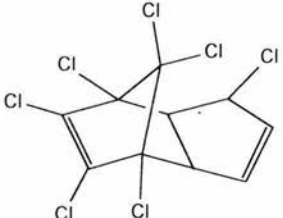
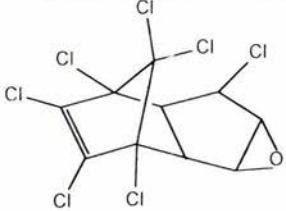
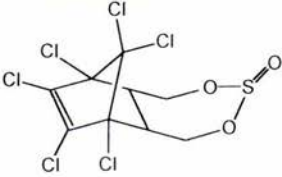
³ Secretaría de Salud. Dirección General de medicina Preventiva, 1997.

⁴ Ventas anuales de DDT al 75 % reportadas por la empresa productora. No incluye ventas al 100 %.

⁵ Ventas a febrero de 1997.

Anexo III. Características físicas y químicas de derivados clorados.

PRODUCTO	NOMBRE CIENTÍFICO Y FÓRMULA	DATOS FÍSICO-QUÍMICOS
<p>γ-BHC (Lindano)</p>	 <p>Hexaclorociclohexano</p>	<p>Sólido p.f. 112.9 °C. Presenta propiedades insecticidas moderadamente soluble en agua, soluble en benceno, acetona, hexano, cloroformo y etanol. Presión de vapor baja. Muy estable al calor y a la oxidación, pero no a los álcalis.</p>
<p>p,p'-DDT</p>	 <p>p,p'-diclorodifenil-1,1,1-tricloro-etano</p>	<p>Sólido cristalino. Mezcla de compuestos que contiene entre un 75 % y 76 % de p, p'-DDT el cual presenta propiedades insecticidas. Insoluble en agua. Soluble en benceno, acetato de etilo, hexano, acetona. No volátil. Muy estable química y bioquímicamente.</p>
<p>p,p'-DDD</p>	 <p>p,p'-diclorodifenil-1,1-dicloroetano</p>	<p>Metabolito del DDT. Tiene propiedades insecticidas. Sólido p.f. 112 °C y solubilidad similar al DDT.</p>
<p>p,p'-DDE</p>	 <p>p,p'-diclorodifenil-,1-dicloroetileno</p>	<p>No se produce industrialmente no tiene acción insecticida. Principal producto del metabolismo del DDT. Muy persistente y de solubilidad similar al DDT.</p>
<p>Aldrín</p>	 <p>1,2,3,4,10,10-hexacloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahidro-exo-1,4-endo-5,8-dimetano-naftaleno</p>	<p>Sólido p.f. 104 °C. Presenta propiedades de insecticida. Insoluble en agua y soluble en xileno, acetona y benceno. Se oxida fácilmente para dar dieldrín. Estable en medio básico.</p>

PRODUCTO	NOMBRE CIENTÍFICO Y FÓRMULA	DATOS FÍSICO-QUÍMICOS
Dieldrín	 <p data-bbox="354 508 728 586">1,2,3,4,10,10-hexacloro 6,7-epóxi-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahidro exo-1,4-endo-5,8-dimetano-naftaleno</p>	<p data-bbox="759 354 1083 517">Sólido p. f. 176 °C. Presenta propiedades de insecticida. Insoluble en agua y soluble en benceno, xileno, tetracloruro de carbono. Estable en medio básico.</p>
Heptacloro	 <p data-bbox="360 828 718 887">1,4,5,6,7,8,8-heptacloro-3a,4,7,7^a-tetrahidro-4,7-metanoindeno</p>	<p data-bbox="759 595 1083 887">Sólido p. f. 95 °C. El producto contiene 65 % de heptacloro y el resto de compuestos relacionados con el, con un intervalo de fusión entre 46 y 75 °C. Propiedades de insecticida. Insoluble en agua, soluble en cloroformo, tetracloruro de carbono y xileno. Estable a la luz, al aire, la humedad, los ácidos y los álcalis.</p>
Epóxido de heptacloro	 <p data-bbox="347 1116 728 1187">1,4,5,6,7,8,8-heptacloro-4,7-metano-3a,4,7,7^a-tetrahidro-2,3-epoxi-4,6-metanoindeno</p>	<p data-bbox="759 1003 1058 1079">Producto de degradación del heptacloro. Más tóxico que el heptacloro.</p>
Endosulfano I	 <p data-bbox="347 1381 728 1423">1,2,2,3,4,7,7-hexacloro-biciclo-(2,2,1)-heptano-5,6-bisoximetilen-sulfito</p>	<p data-bbox="759 1246 1058 1374">Sólido p.f. 109 °C. Soluble en cloroformo, xileno, acetona. Estable a la luz solar. Se hidroliza en medio ácido y básico.</p>

Anexo IV. Otros plaguicidas y sus características.

Organofosforados

En la década de 1950 a 1960 se empezaron a introducir plaguicidas organofosforados al mercado mundial, por lo que se le conoce como la era de los insecticidas organofosforados. Estos compuestos químicos son generalmente ésteres del ácido fosfórico, con tres grupos radicales, dos que pueden ser alquilos, alcoxi o amino sustituidos y el tercero que se puede liberar o metabolizar fácilmente. Estos sustituyentes tienen gran influencia en las propiedades fisicoquímicas del compuesto y se relacionan además con la capacidad de penetración, distribución, activación y/o degradación del plaguicida, con su sitio de ataque y con su potencia y selectividad. La actividad anticolinesterásica que caracteriza a estos compuestos depende en gran medida de su capacidad de fosforilación para la molécula de la acetilcolinesterasa (ACE).

Esta enzima realiza la hidrólisis de la acetilcolina (AC) que se genera en las terminales nerviosas y que actúa como transmisora del impulso nervioso que va desde las fibras nerviosas hasta las células musculares y glandulares, así como el cerebro. Los plaguicidas organofosforados se unen al sitio esteérico de la acetilcolinesterasa fosforilandolo, por lo que compiten con la acetilcolina (Ortega-Ceseña, 1994; EPA, 1995).

Los efectos de la intoxicación por organofosforados se deben a la fosforilación de la ACE y a la acumulación de la AC en la sinapsis del nervio, lo que provoca que los impulsos nerviosos no se transmitan normalmente. Antes de que se manifiesten signos y síntomas de envenenamiento, debe inactivarse una proporción importante de la enzima por la fosforilación. Cuando la dosis es suficiente, la pérdida de la función enzimática permite la acumulación de la AC

(la sustancia que transmite el impulso) en la sinapsis del nervio, en las uniones mioneurales del esqueleto, en los ganglios autónomos y en el cerebro. El efecto producido puede ser contracción de los músculos e incremento de las secreciones glandulares y en las uniones músculo-esqueléticas el exceso de la AC puede ser excitador causando espasmos musculares, pero también puede debilitar o paralizar a la célula. La alteración producida en el cerebro modifica los efectos sensoriales y del comportamiento, coordinación y depresión de la función motora. La depresión respiratoria y el edema pulmonar son las causas usuales de la muerte por envenenamiento con organofosforados (EPA, 1995).

Son sustancias poco persistentes en el ambiente por lo que sus efectos se observan a corto plazo. Aunque estos plaguicidas se utilizan en grandes cantidades, en general sus residuos no se han detectado en el ambiente ni en los tejidos de los seres vivos; sin embargo, algunos son relativamente más persistentes que otros (Viveros, 1990).

En general, no existen datos que identifiquen efectos a largo plazo provocados por los compuestos organofosforados, esto se atribuye a su baja persistencia y a su facilidad de degradación en el ambiente. En consecuencia, es poco probable que se dispersen o contaminen los diversos medios (agua, suelo y aire) o que provoquen alteraciones ambientales o biomagnificación a través de las redes tróficas, llegando a niveles superiores en dichas redes.

A pesar de que no son persistentes, si pueden causar algunos efectos tales como: la mortandad de especies benéficas que no constituyen el blanco de acción; pueden originar resistencia en las especies consideradas como plaga y aumentarlas en número y en algunos casos inhibir la fotosíntesis de las

plantas; así como ocasionar la muerte de organismos que se encuentran presentes en el suelo y agua (Albert, 1997).

Generalmente la vía de penetración de estos compuestos al organismo es cutánea, aunque también puede ocurrir intoxicación aguda al ingerirlos o inhalarlos; algunos efectos producidos por envenenamiento son dolor de cabeza, náusea, mareo, salivación excesiva, vértigos, temblores, diarrea, lagrimeo, coma, convulsiones y muerte; siendo afectado principalmente el Sistema Nervioso Central. Los efectos crónicos que pueden producir son mutagénicos, carcinogénicos, embriotóxicos y teratogénicos (Viveros, 1990).

Carbamatos

Los carbamatos son compuestos que se utilizan principalmente en la agricultura como insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematocidas o inhibidores de la germinación. El interés por este grupo, que inicialmente tenía poca utilidad insecticida en comparación con los organofosforados y los organoclorados, se remonta a mediados de la década de los 50, para los 60 y mediados de los 70 su uso empezó a ser apreciable en todo el mundo (Viveros, 1990).

La base de estos compuestos es el ácido carbámico, que es la monoamida del ácido carbónico. Al igual que ocurre con los organofosforados, deben sus propiedades insecticidas a su capacidad para inhibir a la enzima acetilcolinesterasa, lo que causa la acumulación de la acetilcolina en las terminales nerviosas. Una de las propiedades de estos compuestos es que su biotransformación origina componentes menos tóxicos que el original esto explica el por que de su empleo (Cremllyn, 1995).

Los carbamatos al igual que los plaguicidas organofosforados tienen la capacidad de descomponerse fácilmente, por lo que no son ni persistentes ni acumulables en el ambiente o en los seres vivos debido a su degradación y rápida eliminación. Sin embargo, la fabricación de nuevos componentes químicos aunado al uso excesivo de carbamatos ha originado que se mantengan presentes en el ambiente como es el caso del aldicarb detectado en mantos freáticos contaminados, lo que obligo a la clausura de varios pozos en los Estados Unidos (Albert, 1997).

El modo de acción de estos plaguicidas es similar al de los organofosforados; pero la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa por los compuestos carbámicos es reversible más rápidamente; debido a que la combinación carbamilo-acetilcolinesterasa se disocia a mayor velocidad que el complejo fosforilo-acetilcolinesterasa producido por los compuestos organofosforados (EPA, 1995).

Piretrinas

El piretro es un extracto de oleoresina que se obtiene al moler las flores secas de crisantemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*), posee acción insecticida y se ha usado desde varios siglos antes de Cristo, cuando se le conocía como polvo de Persia y se utilizaba contra los piojos y la sarna en seres humanos. Fue introducido en Europa en el siglo XVII, durante el siglo pasado se utilizó como insecticida doméstico; ahora su uso se ha extendido a todo el mundo. Antes el polvo se esparcía por los rincones de las casas para combatir arañas, moscas, cucarachas, entre otros; ya que es muy efectivo contra insectos y de muy baja toxicidad para mamíferos. Estos ésteres son fuertemente lipofílicos, penetran

con mucha rapidez en muchos insectos y paralizan su sistema nervioso (EPA, 1995).

La obtención del piretro requiere de grandes inversiones, ya que se necesitan cultivos extensos de la flor de crisantemo para la producción a nivel industrial, así como una gran cantidad de mano de obra para la recolección. Esto hizo que su uso fuera sustituido, después de 1940, por los insecticidas sintéticos, cuya producción es considerablemente más barata (Arnold, 1992).

Las piretrinas son líquidos viscosos, insolubles en agua, solubles en alcohol, éter de petróleo, keroseno y otros disolventes orgánicos. La degradación y la biodegradación de estos compuestos es muy rápida, ya que se oxidan fácilmente y se inactivan en contacto con el aire, el agua, la acción de luz y el calor. Por ello su aplicación se ha restringido a plagas en interiores (EPA, 1995).

La forma en que estos plaguicidas realizan su acción insecticida incluye varios efectos sobre el sistema nervioso central, que son semejantes a los causados por el DDT. Se piensa que ocurre un aumento pasajero de la permeabilidad del sodio durante el funcionamiento de las células motoras, lo que inhibe la conductividad del mineral en los axones provocando una ligera despolarización de la membrana nerviosa, descargas eléctricas repetitivas y un bloqueo potencial de la célula (Restrepo, 1992).

Estas sustancias pueden penetrar en el organismo por contacto o como venenos estomacales alterando la función del SNC lo que se registra como excitación, convulsiones, parálisis y muerte. Pueden tener una rápida acción paralizante y pueden causar una inconsciencia temporal. Debido a su baja

estabilidad, se considera que su uso no presenta un riesgo ambiental y no tienden a crear resistencia, aunque no debe descartarse que su acción a parte de eliminar plagas, también elimina insectos benéficos y depredadores naturales de las plagas.

Piretroides

Los piretroides son compuestos sintéticos derivados estructuralmente de la piretrina, pero las estructuras básicas han sido modificadas para incrementar su estabilidad en el ambiente natural; son insecticidas de amplio espectro y actúan principalmente por contacto; se utilizan para controlar una gran variedad de insectos plaga en cultivos agrícolas, en el ganado, en casas y jardines y en campañas de salud pública, para el tratamiento de enfermedades por ectoparásitos (EPA, 1995).

Son compuestos lipofílicos, insolubles en agua, de estabilidad variable ante la luz y el calor y son degradados con facilidad por los microorganismos. Su acción plaguicida es más efectiva a temperaturas bajas; por lo que se pueden aplicar en regiones templadas y frías, presentándose una toxicidad relativamente baja en mamíferos; por su alta actividad insecticida se requieren dosis bajas para controlar las plagas, por su fácil degradación no contaminan el ambiente (Arnold, 1992).

Este tipo de plaguicidas no es inhibidor de la colinesterasa, interfiere con las funciones del sistema nervioso central y periférico, bloqueando los impulsos nerviosos en las células. Estos compuestos estimulan cargas repetidas en las células y después las paralizan, la membrana de las células nerviosas es el sitio donde causan mayor efecto.

En condiciones normales la célula nerviosa reestablece el equilibrio mediante procesos fisicoquímicos que regulan la relación sodio-potasio; sin embargo, se ha establecido que la presencia de estos compuestos bloquea la conductividad de estos cationes y provoca parálisis nerviosa; provocando incoordinación, temblor, salivación, vómito, diarrea, irritabilidad al sonido y al tacto, así como entumecimiento (Restrepo, 1992).

Por su estructura química estas sustancias son degradadas con facilidad por los diferentes organismos, también se descomponen fácilmente en presencia de la luz, en las plantas y en los suelos, en estos últimos al igual que en sedimentos se adsorben fuertemente y no se ha demostrado que tengan tendencia a movilizarse con el agua. Por lo tanto, no persisten en el ambiente por largo tiempo, ni tienden a biomagnificarse a través de las redes tróficas (Arnold, 1992).

Anexo V. Autoridades que controlan los plaguicidas en México.⁶

FASES DEL CICLO DE VIDA DE LOS PLAGUICIDAS	INSTANCIAS RESPONSABLES DEL CONTROL
Importación y exportación	SAGAR/SSA/SEMARNAP/SECOFI/SHCP
Registro	SSA
Proceso y uso	SEMARNAP/SSA/SAGAR/STPS
Almacenamiento	SSA/SCT/STPS
Transporte	SCT/SSA/SEMARNAP/STPS
Comercialización	SAGAR/SECOFI/SSA
Efectividad biológica	SAGAR
Establecimiento de Límites Máximos permisibles de Residuos de Plaguicidas (LMR) en productos agrícolas	SSA/SAGAR
Control de Residuos en productos agrícolas	SSA
Control de calidad de plaguicidas	SSA
Descargas al agua	SEMARNAP/SSA/SEDEMAR
Emisiones al aire	SEMARNAP/SSA
Residuos peligrosos	SEMARNAP/SSA/SCT
Ambiente laboral	STPS/SSA
Salud ocupacional	SSA/STPS
Salud ambiental	SSA
Saneamiento e impacto ambiental	SEMARNAP

⁶ SEMARNAP- Serie 4, 1996.

Anexo VI. Ejemplos de normas relacionadas con los plaguicidas.⁷

CLAVE DE LA NORMA	FECHA	DESCRIPCIÓN
NOM-002-SCT2	30/10/95	Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.
NOM-003-STPS	28/12/99	Actividades agrícolas- Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas. Condiciones de seguridad e higiene.
NOM-046-SSA1	13/10/95	Plaguicidas-productos para uso doméstico-etiquetado
NOM-021-ZOO	23/05/95	Análisis de plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados en grasa de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y aves por cromatografía de gases.
NOM-032-FITO	08/01/97	Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico.
NOM-033-FITO	24/06/96	Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para aviso de inicio que deberán cumplir las personas físicas o morales interesadas en comercializar con plaguicidas.
NOM-034-FITO	24/06/96	Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para dar aviso de inicio de funcionamiento que deberán cumplir las personas físicas o morales interesadas en la fabricación, formulación por maquila, formulación y/o maquila e importación de plaguicidas agrícolas.
NOM-036-FITO	30/09/96	Por la que se establecen los criterios para la aprobación de personas morales interesadas en fungir como laboratorios de diagnóstico fitosanitario y análisis de plaguicidas.
NOM-044-SSA1	23/08/95	Envase y embalaje. Requisitos para contener plaguicidas.
NOM-045-SSA1	20/10/95	Plaguicidas. Productos de uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial. Etiquetado.

⁷ SEMARNAP- Serie 4, 1996.

CLAVE DE LA NORMA	FECHA	DESCRIPCIÓN
NOM-050-FITO	21/11/96	Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para efectuar ensayos de campo para el establecimiento de límites máximos de residuos de plaguicidas en productos agrícolas.
NOM-052-FITO	10/06/97	Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para presentar el aviso de inicio de funcionamiento por las personas físicas o morales que se dediquen a la aplicación aérea de plaguicidas agrícolas.
NOM-057-FITO	30/07/96	Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para emitir el dictamen de análisis de residuos de plaguicidas.
PROY-NOM-051-FITO	12/06/96	Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para el manejo de plaguicidas agrícolas cuya adquisición y aplicación esta sujeta a la recomendación de un profesional fitosanitario.
NOM-052-ECOL	22/09/93	Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso al ambiente.
NOM-055-ECOL	22/09/93	Manejo de envases y recipientes de agroquímicos. Manejo de residuos peligrosos en la industria de plaguicidas.
NMX-AA-071	17/02/81	Análisis de agua-determinación de plaguicidas organoclorados-método de cromatografía de gases.
NMX-K-374	28/07/72	Almacenamiento y transporte de plaguicidas.
NMX-K-431	06/09/77	Procedimiento de muestreo para plaguicidas agropecuarios.

Anexo VII. Recomendaciones para sustituir el uso de plaguicidas químicos.

Frente al problema de contaminación ambiental y riesgos a la salud, provocado por los plaguicidas organoclorados es necesario aplicar estrategias de control integrado para reducir su uso (Bejarano, 1999).

En control integrado se define como la estrategia para combatir las plagas asociando el ambiente y la dinámica de poblaciones, a través de métodos y técnicas adecuados para mantener a estas por debajo de los niveles que producen pérdidas o perjuicios económicos (SEMARNAP-Serie 1, 1996).

El siguiente es un listado de los métodos y técnicas que se emplean en el manejo integral de plagas.

Métodos culturales (prácticas agronómicas):

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

Métodos mecánicos

- Colecta y destrucción manual

- Uso de barreras de exclusión
- Trampas y equipo colector
- Destrucción mecánica

Métodos físicos

- Calor, frío, control de humedad
- Ultrasonido
- Trampas electrizadas y manipulación de luz
- Quema

Control biológico

- Protección de las poblaciones de enemigos naturales y estímulo a su multiplicación
- Reproducción artificial natural de enemigos naturales nativos o introducidos
- Propagación artificial de organismos patógenos específicos

Control químico

- Atrayentes o repelentes
- Quimioesterilizantes
- Reguladores del desarrollo (hormona sintéticas y análogos)
- Insecticidas convencionales y no convencionales
- Técnica de confusión sexual (uso de feromonas)

Métodos genéticos

- Técnica del insecto estéril
- Incompatibilidad genética interespecífica o intraespecífica

Control legal

- Cuarentenas interiores y exteriores

➤ Obligatoriedad de prácticas agronómicas

El análisis de cada uno de los métodos y técnicas anteriores permitirán comprender sus ventajas sobre los métodos tradicionales. A continuación se hace una breve descripción de los métodos referidos anteriormente (Albert *et al.*, 1990).

Control biológico: Se caracteriza por recurrir al uso de organismos biológicos como agentes para manejar otros organismos. Principalmente se utilizan parasitoides, depredadores y patógenos que ocasionan enfermedades; como las bacterias, hongos y virus. Como ejemplo se tiene a las catarinas que comen pulgones, ácaros y huevecillos de otras especies, así como bacterias (*Bacillus thuringiensis* y *Bacillus viaus*) que atacan a variedades de mosquitos (*Aedes aegypti* y *Anopheles spp.*) causantes del dengue y el paludismo.

Método cultural: Consiste en la manipulación del medio donde se tiene un cultivo determinado, con el fin de hacerlo menos atractivo para la plaga. Algunos ejemplos de esto son; arar el suelo profundamente o la rotación de cultivos. El primero contribuye a la eliminación de malas hierbas, al enterramiento de organismos que transmiten enfermedades para las plantas y a la exposición de insectos y nemátodos del suelo a condiciones adversas, como el sol la sequedad y los pájaros que se alimentan de ellos. Por otra parte la rotación de cultivos permite controlar insectos que atacan solamente a siembras específicas y aquellos que no hacen migraciones largas.

Método físico: Utiliza barreras físicas o mecánicas; como la eliminación manual de insectos visibles, sus huevos o las partes de las plantas dañadas por alguna enfermedad. También se pueden colocar cribas sobre la planta o árbol

evitando que el insecto se acerque o aplicando barreras pegajosas que impidan el arrastre del organismo hacia lo alto de un tronco.

Control legal: Previene los problemas que ocasiona una plaga, evitando que entre en contacto con el cultivo que le sirve de alimento. Dentro de este se puede considerar a la cuarentena, cuyos reglamentos permiten restringir el movimiento de plantas y animales, evitando la introducción de plagas en regiones nuevas.

Control competitivo: Consiste en desalojar de una zona a una especie por medio de otra que sea un homólogo ecológico. El mosquito (*Anopheles labranchiae*) causante de la malaria puede ser desplazado del medio por otro mosquito (*Anopheles hispaniola*) no vector.

Control químico: Son sustancias de efecto menos agresivo que los químicos sintéticos; su función es controlar las poblaciones de insectos mas no exterminarlas. Tal es el caso de los extractos de algunas plantas que funcionan como atrayentes de insectos, de alimento y de efecto sexual como las feromonas.

Control genético: Este método está bien ilustrado, en el caso del insecto "estéril" por exitosas campañas conjuntas en México y Estados Unidos para la supresión de la mosca del mediterráneo; *Ceratitis capitata* y del gusano tornillo del ganado; *Cochiomyia hominivorax* (Albert *et al.*, 1990; Restrepo, 1992).

Anexo VIII. Métodos de disposición de excedentes de plaguicidas y desecho de envases.

Con el aumento de la producción y uso de los plaguicidas se ha desarrollado otro problema creciente: la disposición segura de los desechos de plaguicidas; incluyendo los envases utilizados, materiales contaminados, sustancias químicas deterioradas o que ya no se usan y la existencia excesiva de plaguicidas.

Muchas de Las intoxicaciones y muertes que ocurren en el mundo son causadas por el manejo inapropiado de los desechos plaguicidas, por ejemplo al utilizar los envases de estos compuestos para almacenar agua y alimentos para consumo humano y animal, o bien por su eliminación negligente, resultando como consecuencia la contaminación de aire, agua, suelo y con frecuencia la intoxicación de personas, ganado, peces y fauna silvestre.

La disposición de plaguicidas y sus envases en basureros de áreas abiertas y la descarga en lagos o ríos, para limpiar el equipo utilizado o lavar los envases “vacíos” también genera contaminación y problemas de salud.

Algunos métodos para reducir la necesidad de disposición de plaguicidas son:

- Evitar el almacenamiento excesivo y la acumulación de material.
- Evaluar los requerimientos de plaguicidas y no aceptar donaciones.
- Evitar aceptar donaciones de plaguicidas no solicitados.
- No aceptar envases de plaguicidas dañados.
- Llevar registros de las existencias y etiquetar claramente los envases para evitar el problema de no identificarlos.

- Manejar los tambores de plaguicidas de forma apropiada.
- De ser posible almacenar los plaguicidas en un lugar fresco lejos de la exposición directa a la luz del sol.

Estas medidas pueden ayudar a reducir los riesgos para la salud y a evitar pérdidas económicas al disminuir los daños al plaguicida almacenado (Smith y Helmick, 1993).

La mayoría de los países en desarrollo carece de la tecnología recomendada por agencias nacionales e internacionales que permitan la eliminación segura del desecho de plaguicidas excedentes. Hay varios métodos químicos, físicos y biológicos que han sido sugeridos, los más factibles son: tratamiento en suelo (aeróbico o anaeróbico), incineración a alta temperatura, relleno sanitario, tratamiento químico, tratamiento con álcalis, tratamiento con ácidos, tratamiento con oxidantes, fotólisis, degradación anaeróbica en lagunas sépticas, escape al aire y finalmente, si no se dispone de información sobre las opciones de su tratamiento devolución al proveedor (Munnecke, 1986).

El primer paso para elegir el método de desecho es contar con la mayor cantidad de información acerca del producto como: características químicas (toxicidad, persistencia, potencial de bioacumulación, movilidad en el ambiente, productos de descomposición e impurezas tóxicas), uso y métodos de disposición (Smith y Helmick, 1993).

Otros factores que deben ser considerados antes de elegir el método de disposición adecuado son:

- Cantidad de desecho que debe ser eliminada.
- Concentración del ingrediente activo en el producto.
- Forma física del desecho.
- Tipo de formulación.
- Condición del envase del plaguicida.
- Requerimientos de las autoridades.
- Costo de los métodos de tratamiento o disposición.
- Ubicación de los desechos.
- Factores climáticos y geológicos.
- Disponibilidad de equipo de protección para llevar a cabo el método.

Para la disposición de los envases vacíos, hay que considerar que estos quedan impregnados de plaguicida y deben ser eliminados en forma apropiada. Se recomienda que todos los envases sean triturados o perforados para evitar que se vuelvan a utilizar. Enfermedades graves y muertes han sido provocadas por volver a utilizar los envases vacíos de plaguicidas para almacenar alimentos y agua.

En caso de envases combustibles (papel, cartón, tela, plástico o madera) se pueden usar las siguientes opciones de disposición: quemar en un incinerador a altas temperaturas, eliminar en un relleno sanitario o sepultar en sitios especiales para su disposición. Los envases de metal o vidrio deben ser enjuagados tres veces y su eliminación puede ser por medio de alguna de las siguientes opciones: devolver al proveedor o a un centro de reacondicionamiento (si existe), enviar los envases de metal a una

fundidora, eliminar en un relleno sanitario o sepultar en sitios especiales de disposición.

Si los envases van a ser usados, deben ser lavados por lo menos tres veces (triple lavado) inmediatamente después de vaciarlos, también es posible neutralizar el remanente en el envase al agregar una sustancia alcalina. Estos procedimientos no permiten que los envases sean adecuados para el almacenamiento de alimentos, comida para animales o agua potable. Los envases de plaguicidas nunca pueden ser lavados tan minuciosamente que permitan su seguridad para esos usos (Munnecke, 1986; Smith y Helmick, 1993).