



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y
FORESTALES**

**Coordinación de Estudios de Posgrado
Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas**

Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas

**“PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN AGUA Y
SEDIMENTOS, EN EL RÍO LERMA, MUNICIPIO DE LA
PIEDAD, MICHOACÁN, MÉXICO”**

Que presenta

ALEJANDRA PÁEZ SÁNCHEZ

Como requisito para obtener el grado de Maestra en
Ciencias.

Tutor de Tesis:

Dra. Ruth Alfaro Cuevas-Villanueva

Co-tutor:

Dr. Otoniel Buenrostro Delgado

Mayo 2011



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**

Dedicatoria:

Este trabajo está dedicado a mi familia, pero en especial a mi madre, por su incondicional apoyo y por creer en mí aún cuando yo dejé de hacerlo.

AGRADECIMIENTOS

A las instituciones y autoridades que me brindaron las facilidades necesarias para la realización de este trabajo:

Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo

Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales.

Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas.

Centro de Interamericano de Recursos del Agua de la UAEMEX.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Proyecto FOMIX 73881 “Saneamiento de la cuenca del río Lerma en el municipio de La Piedad, Michoacán” 2008-2010.

A la Dra. Ruth Alfaro Cuevas-Villanueva, Dr. Otoniel Buenrostro Delgado y Dr. Raúl Cortés Martínez por su dirección, confianza y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A la Dra. Verónica Martínez Miranda y al Dr. Julio Cesar Orantes por sus comentarios y correcciones que contribuyeron enormemente al enriquecimiento de mi trabajo.

A la M.C. Ana Elisa Alcántara Valladolid por su apoyo en el análisis de las muestras.

Al M.C. Benjamín Villalobos Castañeda por su amistad y enorme apoyo durante todo el curso de la Maestría y el desarrollo de este trabajo.

A la Biol. Guadalupe Barrera por su apoyo en las salidas a campo.

A Luis, Erika y Mintzi por acompañarme, animarme y presionarme en la etapa final del desarrollo de este trabajo.

A mi madre y mis hermanos por estar siempre, siempre que los necesito.

A todos mis amigos y amigas.

Pero sobretodo a Dios por todas las bendiciones que me ha dado y por haberme permitido llegar a la culminación de una más de mis metas.

CONTENIDO

I. RESUMEN GENERAL	1
II. SUMMARY	3
III. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	5
III.1. ANTECEDENTES	7
III.1.1. Área de estudio.....	7
III.1.2. Plaguicidas organoclorados.....	9
III.1.3. Los plaguicidas organoclorados en el ambiente acuático	13
III.1.4. Toxicología de los plaguicidas organoclorados	14
III.1.5. Estudios a nivel mundial	16
III.1.4. Estudios a nivel nacional.....	17
IV. HIPÓTESIS.....	19
V. OBJETIVOS.....	20
VI. RESULTADOS.....	21
VI.1 RESUMEN	21
VI.2. ABSTRACT	22
VI.3. INTRODUCCIÓN.....	23
VI.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
VI.4.1. Sitios de muestreo	24
VI.4.2. Toma de muestras	24
6.4.3. Parámetros analizados	25
VI.4.4. Determinación de plaguicidas organoclorados	27
VI.4.5. Compuestos a determinar.....	29
VI.4.6. Métodos estadísticos de tratamiento de datos	29
VI.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
VI.5.1. Agua	31
VI.5.2. Sedimentos.....	42



VI.6. CONCLUSIONES.....	48
VI.7. LITERATURA CITADA	50
VII. Perspectivas y Recomendaciones.....	53
VIII. Bibliografía Complementaria	54
Anexo 1	58



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de algunos plaguicidas organoclorados.	11
Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo en el área de estudio	26
Figura 3. Procedimiento general para el análisis de POC en agua y sedimentos	30
Figura 4. Temperatura del agua en los seis sitios de muestreo durante los tres periodos de estudio.	32
Figura 5. Valores de pH en el agua en los seis sitios de muestreo, durante los tres periodos de estudio.	32
Figura 6. Concentración de oxígeno disuelto en el agua de los seis sitios de muestreo durante los tres periodos de estudio.	33
Figura 7. Concentración de sólidos disueltos totales en agua de los seis sitios, durante los tres periodos de estudio.	33
Figura 8. Conductividad eléctrica del agua en los seis sitios de muestreo, durante los tres periodos de estudio.	34
Figura 9. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de la concentración de p,p'-DDE en las muestras de agua contra los valores de temperatura (T°C) encontrados.	39
Figura 10. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de la concentración de p,p'-DDE en las muestras de agua contra los valores de pH encontrados.	39
Figura 11. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de la concentración de p,p'-DDE en las muestras de agua contra los valores de conductividad eléctrica (CE) encontrados.	40
Figura 12. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de la concentración de p,p'-DDE en las muestras de agua contra los valores de sólidos disueltos totales (SDT) encontrados.	40
Figura 13. Distribución espacial de los compuestos encontrados en las muestras de agua	41
Figura 14. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de la concentración de p,p'-DDE y los porcentajes de arenas en las muestras de sedimento.	46
Figura 15. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de la concentración de p,p'-DDE y el porcentaje de arcillas en las muestras de sedimento.	46



Figura 16. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de las concentraciones de p,p'-DDE y los porcentajes de p,p'-DDE en las muestras de sedimento. 47

Figura 17. Distribución espacial del p,p'-DDE en las muestras de sedimentos 49



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ejemplos de la persistencia de diferentes plaguicidas.	10
Cuadro 2. Clasificación de los plaguicidas organoclorados por su estructura química.	12
Cuadro 3. Plaguicidas organoclorados que se cuantificaron en las muestras.....	30
Cuadro 4. Concentración de plaguicidas organoclorados presentes en las muestras de agua y sedimento.	36
Cuadro 5. Valores de pH en sedimentos de los seis sitios, en un muestreo comparativo en febrero de 2009.....	42
Cuadro 6. Color de los sedimentos de los seis sitios de muestreo, durante un muestreo comparativo en febrero de 2009.....	42
Cuadro 7. Textura de los sedimentos en los seis sitios durante un muestreo comparativo en febrero de 2009.....	43
Cuadro 8. Datos de carbono total, carbono inorgánico y carbono orgánico (en porcentaje en peso) de los seis sitios, en dos muestreos comparativos.....	43
Cuadro 9. Valores guía de concentraciones de p,p'-DDE en sedimentos ($\mu\text{g}/\text{kg}$ peso seco) dados por diferentes organismos internacionales.....	44



I. RESUMEN GENERAL

El crecimiento demográfico ha llevado al ser humano a la sobreexplotación de los recursos naturales. Además, la creciente actividad industrial, ha traído como consecuencia el deterioro de los cuerpos de agua, tanto por el uso del recurso en sus procesos, como por la descarga de contaminantes en los mismos. Aunado a esto, la actividad agrícola poco regulada también ha contribuido a la contaminación del agua, debido a los escurrimientos que contienen fertilizantes, plaguicidas y otras sustancias químicas.

De particular importancia es la descarga de sustancia conocidas como “compuestos orgánicos persistentes”, ya que tienen repercusiones importantes en la salud humana y de los ecosistemas. La cuenca Lerma-Chapala se ha convertido en una de las regiones económicas más importantes del país. El río Lerma, a pesar de estar contaminado, sigue siendo indispensable para el riego en muchos estados, incluyendo la zona de estudio (Cotler *et al.* 2006). Lo anterior representa un riesgo tanto para las personas que se dedican a las actividades agrícolas, como para los consumidores de productos regados con agua contaminada.

En este trabajo, se analizó la presencia y distribución de un grupo particular de este tipo de compuestos, los plaguicidas organoclorados, en el agua y sedimentos del río Lerma, particularmente en el meandro donde su ubica la zona urbana de La Piedad, Michoacán.

El análisis de los plaguicidas se llevó a cabo mediante el monitoreo de 6 sitios, durante el periodo julio-noviembre de 2010. Se tomaron muestras de agua de 1L directamente lo más al centro de la corriente que fue posible y muestras de sedimento superficial con un nucleador. Se midieron parámetros fisicoquímicos de campo de las muestras de agua con un potenciómetro portátil. El análisis de plaguicidas se llevó a cabo mediante cromatografía de gases, siguiendo la metodología establecida por la USEPA.

De los 18 compuestos analizados, solamente tres se encontraron en concentraciones detectables en las muestras de agua: dieldrín (sitio 2, julio: 0.248 mg/L), endrín cetona (sitio 4, septiembre: 0.301 mg/L) y p,p'-DDE (0.123-0.263 mg/L). En el caso de los sedimento, el único compuesto que se detectó fue el p,p'-DDE (0.297-0.562 mg/kg pesos seco),



encontrándose en concentraciones que llegaron a superar incluso el nivel de efecto severo para fauna bentónica en algunas muestras. El sitio localizada más aguas arriba del río (sitio 1) presentó concentraciones elevadas de p,p'-DDE tanto en agua como en sedimento, lo que indica que este metabolito está siendo transportado hasta el meandro, sin embargo, el hecho de que no se encontró DDT en ninguna de las muestras, sugiere que la contaminación de la zona proviene más bien de aplicaciones antiguas, pero debido a la alta persistencia de estos compuestos, aún es posible encontrarlos en el ambiente. Además, el sitio 4 que se encuentra en el centro del meandro, parece estar reteniendo este compuesto, por el acumulo de materia orgánica y el bajo contenido de oxígeno disuelto (Villalobos 2011). En general se recomienda realizar un análisis intensivo de plaguicidas organoclorados en la zona para tener un mejor panorama de su comportamiento tanto espacial como temporal, proponer el uso de tecnologías agrícolas que sean más amigables con el ambiente, así como la regulación del uso del agua del río en los procesos de riego de cultivos para evitar que dichos contaminantes pudiesen llegar a los habitantes de la región por el consumo de alimentos contaminados.



II. SUMMARY

Human population growth has led to the degradation of natural resources because of their misuse. Increasing industrial activity has resulted in the decline of water bodies, caused both by the use of the resource in their processes, as for the discharge of pollutants in them. In addition, unregulated farming has also contributed to water pollution due to runoff water containing fertilizers, pesticides and other chemicals.

Discharge of substances known as persistent organic compounds is particularly important, as they have significant effects on human health and ecosystems. The Lerma-Chapala basin has become one of the major economic regions of the country. The Lerma River, even though is highly contaminated, is still important for irrigation in many states, including the studied area (Cotler *et al.* 2006). This represents a risk for people involved in agricultural activities, as for people consuming contaminated products.

Presence and distribution of organochlorine pesticides were analyzed in this study, in both water and sediment samples of the Lerma River, particularly on the meander located near the urban area of La Piedad, Michoacán.

Pesticide analyses were performed by monitoring six sites from July to November 2010. Water samples were taken in 1L glass bottles directly from the flow. Sediment samples were taken with a sediment core sampler and placed in 0.5L wide mouth glass bottles. Water physicochemical parameters were measured in field water using a portable Potentiometer. Pesticide analyses were performed by Gas Chromatography, following the methodology established by the USEPA.

Only three of the 18 compounds analyzed were found in detectable concentrations in water samples: dieldrin (site 2, first sampling campaign: 0.248 mg/L), endrin ketone (site 4, second sample: 0.301 mg/L) and p, p'-DDE (0.123-0.263 mg/L). As for sediment, only p, p'-DDE was detected (0.297-0.562 mg / kg dry weight), but at high concentrations, exceeding even the severe effect level for benthic fauna. The site located up the river had high levels of p, p'-DDE in both water and sediments, suggesting that the metabolite is being transported to the meander. However, since DDT was not found in the area, it is probable that this



compounds came from past, non recent applications. In addition, site 4, located in the center of the meander, seems to be holding the p,p'-DDE, due to the high levels of organic matter and low concentration of dissolved oxygen (Villalobos 2011). It is recommended an intensive analysis of the POC's in the area to have a better look of its spatial and temporal behavior. Also, the change of the use of agrochemical products for environmentally friendly technologies is recommended, as well as the regulation of the use of river water crop irrigation. This to make sure that these pollutants will not reach people of the region by polluted food consumption.



III. INTRODUCCIÓN GENERAL

El crecimiento demográfico a nivel mundial ha llevado al ser humano a la explotación de recursos para la satisfacción de sus necesidades, el aumento de industrias, cada vez mayor, provoca el uso incontrolado del agua en sus procesos; además, el uso de plaguicidas para el mejoramiento de cultivos, provocan que a los ríos llegue una mayor cantidad de contaminantes de origen municipal, industrial y agrícola; de este modo, se limita a los cuerpos de agua en su capacidad de autopurificación.

El río Lerma, aún estando contaminado, sigue siendo indispensable para el riego en muchos estados. Esta actividad ocasiona una fuerte exposición de los trabajadores a diversos contaminantes no identificados, además de constituir una fuente potencial de transferencia de compuestos tóxicos al hombre, a través de la alimentación, al consumir productos regados con agua contaminada (Carreño 2008).

La historia de ocupación y apropiación de los recursos naturales de la cuenca Lerma-Chapala ha llevado a su transformación hasta convertirla en una de las regiones hidrológicas, económicas y sociales más importantes del país. Por otro lado, este crecimiento poco regulado se ha realizado a expensas del medio ambiente, teniendo como consecuencia el deterioro de los ecosistemas, la pérdida de servicios ambientales y el incremento de la vulnerabilidad en la cuenca. En la actualidad, la presión por los recursos de la cuenca, en especial el agua, está distribuida entre los usuarios de cinco estados: Guanajuato (43.75%), Michoacán (30.26%), Jalisco (13.42%), México (9.8%) y Querétaro (2.76%) (Cottler *et al.* 2006).

Por lo anterior, es de notar que existe un especial interés por la preservación de la calidad del agua superficial, razón por la que se han establecido normas y reglamentos que contemplan su uso como agua para consumo humano, animal, agrícola, etc. La presencia en los sistemas acuáticos de sustancias químicas de origen antropogénico en concentraciones que exceden los límites fijados por dichas normas, determinará si el agua es o no apta para un uso u otro, esto debido a los efectos nocivos que producen sobre los seres vivos sustancias como metales, plaguicidas u otras sustancias orgánicas de origen industrial.



La descarga de productos químicos conocidos como “sustancias tóxicas persistentes” tiene consecuencias mayores para la salud humana y el medio ambiente. De especial importancia son los denominados compuestos orgánicos persistentes, que como su nombre lo indica, permanecen en el ambiente, resisten a la degradación y tienen efectos tóxicos agudos y crónicos. Muchas sustancias tóxicas persistentes son transportadas a través de largas distancias por la atmósfera y los cuerpos de agua, distribuyéndose globalmente, y pueden ser detectados aún en áreas donde nunca fueron utilizadas (Carreño 2008).

Los compuestos persistentes son generalmente muy absorbibles y bioacumulables. Debido a su carácter hidrofóbico pronunciado, las sustancias orgánicas tóxicas se encuentran asociadas principalmente a los sólidos en suspensión, sedimentos y organismos (Carreño 2008). Por lo anterior, la descarga de algunas sustancias tóxicas no será perceptible si se analiza solo la columna de agua, mientras que los sedimentos constituyen una excelente fuente de información sobre estas prácticas.

En todo el Río Lerma, se han analizado contaminantes metálicos, pero en cuanto a la cuantificación de contaminantes orgánicos, solo hay información de la zona del Alto Lerma. Más aún, la zona del municipio de La Piedad, en el Estado de Michoacán, es una zona que se considera como receptora de desechos agrícolas por la intensa actividad de este tipo que se lleva a cabo aguas arriba. Debido a esto, es de suma importancia identificar y cuantificar los plaguicidas organoclorados en este cuerpo de agua, ya que son de los agroquímicos más utilizados y que incluso aún se siguen usando, por lo que pueden estar llegando al río, más aún teniendo en cuenta que a pesar de ser considerado el río más contaminado del país, éste sigue teniendo un elevado valor para las actividades agrícolas de la región, y se sabe que el uso de estos compuestos en dichas prácticas es intenso y algunas veces inadecuado, reflejándose en problemas de salud sobre la población y en riesgos potenciales para el ecosistema.

Por lo anterior, en este proyecto se estudió la presencia y distribución de plaguicidas organoclorados en agua y sedimentos del meandro de La Piedad, Michoacán, para determinar si dichos compuestos se encuentran a niveles que puedan afectar la salud del ecosistema, lo que finalmente se verá reflejado en afectaciones a la salud humana.



III.1. ANTECEDENTES

III.1.1. ÁREA DE ESTUDIO

La región hidrográfica Lerma-Chapala-Santiago cubre una superficie aproximada de 53591.3 km² (2.73% del territorio nacional). La parte correspondiente al Estado de Michoacán constituye una región alta que se caracteriza por tener zonas planas y amplias, que basculan ligeramente hacia el noroeste. Estos valles se encuentran separados por elevaciones que corresponden a estructuras volcánicas, cuyas altitudes varían entre 1600 y 2000 m. Existen amplias llanuras de inundación alrededor de los principales cuerpos de agua como son los lagos de Cuitzeo, Chapala, Pátzcuaro y otros que confirman la reducción de los niveles de agua; situación observada en todos los cuerpos de agua del país con una tendencia a desaparecer (Gobierno del Estado de Michoacán 2002).

El primer estudio sobre la calidad del agua del Río Lerma se llevó a cabo en los años setentas (SARH 1978). En este trabajo se evaluó con los parámetros de esa época la calidad del agua del río, específicamente el tramo Toluca-Atlacomulco y la presa José Antonio Alzate. En esa época se empezaban a detectar problemas ambientales en el embalse J.A. Alzate, como la acelerada mortandad de peces. Desde 1999, Fall reportó que no hay peces y que el embalse se encuentra en proceso de eutrofización.

La SARH (1978) también realizó un programa de monitoreo del Río Lerma entre 1976 y 1978. En este estudio se recopilaron los resultados de los análisis fisicoquímicos (pH, DBO, y sólidos en suspensión) del agua recolectada en 31 estaciones de muestreo.

En 1983, en un estudio de la Organización Mundial de la Salud (OMS 1983) se realizó un diagnóstico ambiental de la zona industrial del Alto Lerma, en el corredor industrial Lerma-Toluca, y dio a conocer, de manera cualitativa, los problemas de esa región.

En los últimos años se han realizado diversos estudios ambientales en el río, destacando los trabajos de Ávila (1995, 2001), quien evaluó la acumulación y la dinámica de metales pesados en la interacción agua/sedimento/biota de la Presa J.A. Alzate. Zarazúa, en 2000, se interesó en la problemática de la bioacumulación de metales pesados en biota de la



presa, mientras que Barceló y colaboradores (1997a, 1997b, 1998a, 1998b) han evaluado la movilidad de los metales, los parámetros fisicoquímicos en sedimentos de la presa, agua de interfase y materia suspendida. Posteriormente en 2006, Tejeda y colaboradores estudiaron la distribución espacial de 6 elementos traza y mayoritarios: titanio, manganeso, hierro, zinc, cobre y plomo en la zona alta de río Lerma.

La Piedad, Michoacán, se ubica en la subcuenca Lerma de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Su geología se constituye básicamente de rocas ígneas extrusivas y sedimentarias, así como zonas de materiales sedimentarios sin consolidar (grava, arena, limo y arcilla). En esta zona de la cuenca, predominan los vertisoles, sobre la extensa planicie aluvial que se extiende hasta el lago de Chapala, dicha planicie se encuentra alternada con lomeríos y montañas basálticas y tobas básicas donde principalmente predominan los feozems (Garrido *et al.* 2006). El clima de la zona es el templado semicálido subhúmedo con lluvias en verano y es una zona de muy alta captación de agua en la época de lluvias (2.19×10^6 a 4.37×10^6 millones de m^3) y alta en época de estiaje (0.21×10^6 a 0.36×10^6 millones de m^3) (Aparicio y Lobato, Escolero *et al.* en Cotler *et al.* 2006).

La zona metropolitana de La Piedad es una de las 10 principales zonas urbanas dentro de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, con un nivel alto de urbanización, una caracterización del nivel socio-económico entre bajo y medio y un grado de marginación catalogado como muy bajo (Guillermo y Escamilla; Cardona en Cotle *et al.* 2006). Por lo anterior, la especialización económica se centra en el sector extractivo, de servicios y de actividades agropecuarias. Con respecto al sector agropecuario, la zona de La Piedad tiene un sistema de producción con tenencia de la tierra dividida en menos del 30% como propiedad ejidal y más del 60% como propiedad privada, la especialización agrícola se centra en la producción de alfalfa, trigo y sorgo o maíz y una especialización pecuaria hacia el ganado bovino y porcino (Cardona en Cotler *et al.* 2006; Cottler y Fregoso en Cotler *et al.* 2006).

La subcuenca Lerma se encuentra entre las de mayor volumen de extracción de agua superficial (56.5 a 65.53 millones de m^3 /año) y su uso es predominantemente agrícola (Zarco y Mazari en Cotler *et al.* 2006). Según la Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua, mediante la evaluación de la calidad del agua en el año 2005 utilizando dos parámetros indicadores (DBO₅ y DQO), el río Lerma en la estación de La Piedad muestra una calidad del



agua aceptable, con indicios de contaminación en agua superficial con capacidad de autodepuración con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Un segundo estudio de las fuentes potenciales de contaminación indicó que en general, en la cuenca Lerma-Chapala-Santiago resulta relevante el vertimiento de desechos líquidos, como el agua de retorno agrícola que contiene, además de nutrientes y compuestos tóxicos como plaguicidas (Zarco y Mazari en Cotler *et al.* 2006; Mejía *et al.* en Cotler *et al.* 2006).

III.1.2. PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS

Según la FAO (OMS 1992), un plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de organismos causantes de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que intervienen de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera, productos de ésta o alimentos para animales. Asimismo la definición abarca las sustancias reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de las frutas o agentes para evitar la caída prematura de la misma y sustancias utilizadas antes o después de la cosecha, con el propósito de proteger el producto.

Los plaguicidas organoclorados son compuestos orgánicos persistentes sintéticos que contienen carbono, hidrógeno y cloro (algunos pueden contener oxígeno y/o azufre). Estos compuestos presentan una escasa solubilidad en agua pero elevada solubilidad en disolventes orgánicos, por lo que en los seres vivos son fácilmente acumulados en el tejido adiposo. Además tienen una baja presión de vapor, una gran estabilidad fisicoquímica y alta resistencia al ataque de microorganismos, lo que los hace compuestos altamente persistentes en el ambiente (vida media en suelos: 10 años) (Arias Verdes *et al.* 1990, Calva y Torres 1998).

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 plaguicidas que persisten más



tiempo en el ambiente tienen mayor probabilidad de interacción con los diversos elementos que conforman los ecosistemas. Si su vida media y su persistencia son mayores a la frecuencia con la que se aplican, los plaguicidas tienden a acumularse tanto en el suelo como en la biota (SEMARNAP-INE 1999).

En general, los plaguicidas organoclorados tienen una persistencia mucho mayor que otro tipo de plaguicidas (Cuadro 1), como los organofosforados o los carbamatos, lo que, conjuntamente con sus características toxicológicas, los hace compuestos muy peligrosos para los organismos vivos de los ecosistemas donde se puedan encontrar. Esta alta persistencia, también les permite a los compuestos organoclorados la capacidad de desplazarse a ecosistemas lejanos del lugar donde se aplicaron.

Cuadro 1. Ejemplos de la persistencia de diferentes plaguicidas.

PLAGUICIDA	PERSISTENCIA EN SUELOS (SEMANAS)	PLAGUICIDA	PERSISTENCIA EN SUELOS (SEMANAS)
Organoclorados		Carbamatos	
Aldrín	530	Carbaryl	2
Dieldrín	312	Carbofuran	8-16
Endrín	624		
DDT	546		
Hexaclorobenceno (HCB)	208		
γ -Hexaciclohexano (γ -HCH)	728		
		Varios	
Organofosforados		Diclorvos	8
Malatión	2	Captan	1
Paratión	8	2,4,5-T	1-12
Forato	2	Cloruro de etilmercurio	Permanente

Modificado de SEMARNAP – INE, 1999

Clasificación

Los compuestos organoclorados forman un grupo de sustancias con características fisicoquímicas y estructuras muy diversas (Fig.1), teniendo aplicaciones tanto en la industria como en la agricultura. Son plaguicidas orgánicos sintéticos, que en su estructura química



contiene varios átomos de cloro unidos por enlaces covalentes polares, y se clasifican de acuerdo al Cuadro 2.

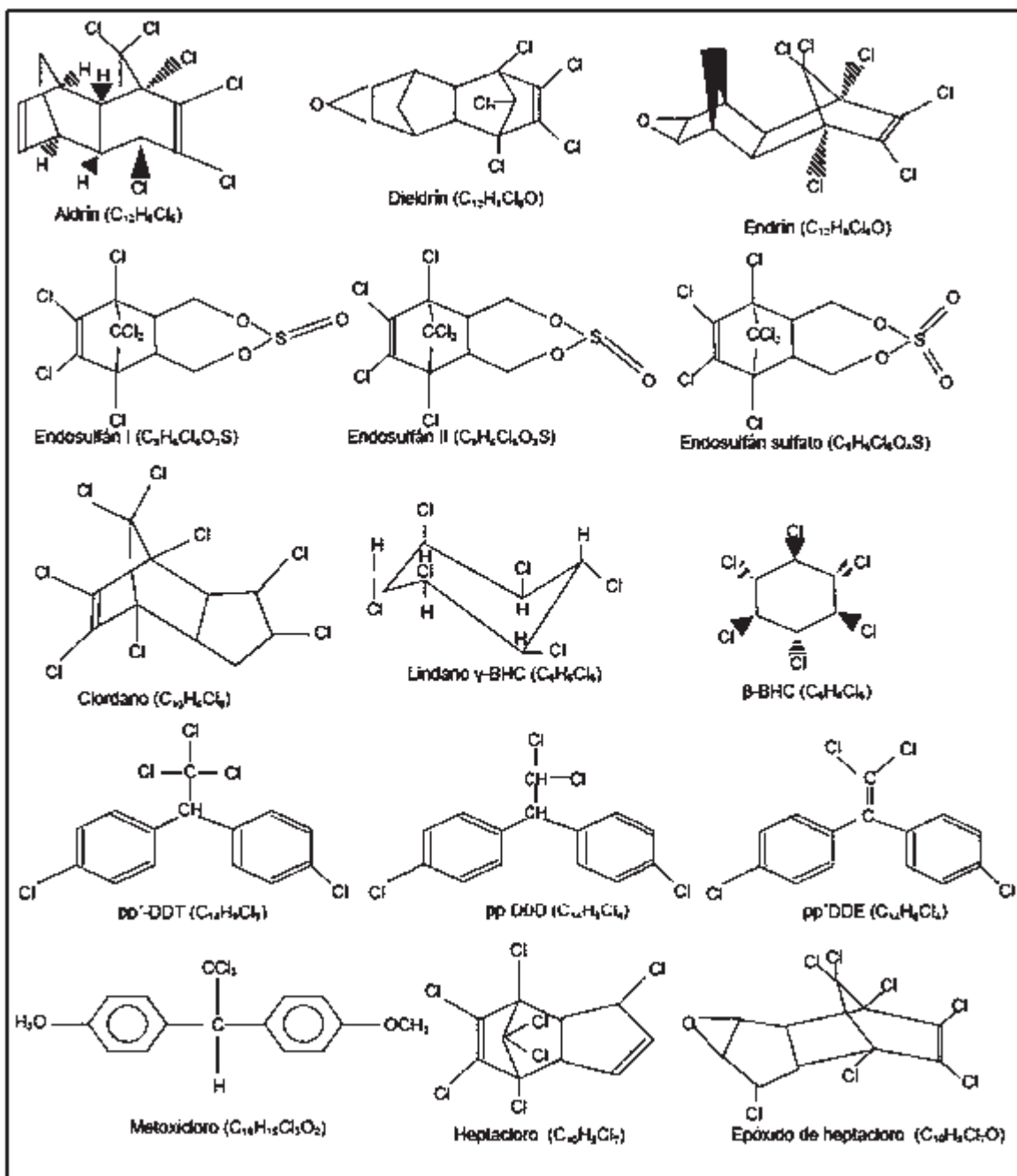


Figura 1. Estructura química de algunos plaguicidas organoclorados.



Cuadro 2. Clasificación de los plaguicidas organoclorados por su estructura química.

Derivados clorados de hidrocarburos aromáticos	DDT, DDE, DDD Dicofol Metoxicloro Clorobencilatos
Derivados clorados de hidrocarburos alicíclicos	Hexaclorociclohexano (HCH)
Derivados clorados de hidrocarburos ciclodiénicos	Aldrín Dieldrín Endrín Heptacloro Endosulfan Clordano Mirex
Derivados clorados de terpenos	Canfeclor (Toxafeno)

De estos compuestos, los más estudiados son el DDT (dicloro difenil tricloroetano), p,p'DDD, p,p'DDE, endrín, HCH, lindano (γ - HCH), toxafeno, heptacloro, aldrín, epóxido de heptacloro, endosulfán I y II, dieldrín, endrín y sulfato de endosulfán.

Usos

Los plaguicidas organoclorados se han utilizado en la lucha contra vectores, así como en la protección de los recursos agropecuarios y forestales, como insecticidas, acaricidas específicos, herbicidas y fungicidas. Estos plaguicidas se aplican durante la siembra de algodón, trigo, maíz, frijol, arroz, soya, sorgo y cártamo; en los frutales como la naranja, mango, melón, sandía y piña, así como en las plantaciones de café, caña de azúcar y henequén (Calva y Torres 1998).

En México, los compuestos que más se utilizan son los siguientes (Arias Verdes *et al.* 1990):

- DDT: prácticamente en todos los cultivos.
- Metoxicloro: Alfalfa, algodón, arroz, cereales, hortalizas, florales y otros.
- Lindano: arroz, maíz, plátano, papa.



- Heptacloro y clordano: algodón (el clordano se utiliza además para el combate de hormigas y plagas de la madera).
- Endosulfán: hortalizas, tubérculos, tabaco y otros.
- Aldrín, dieldrín, endrín: algodón, maíz, arroz, granos, frutas y hortalizas.

En lo que respecta al control de vectores de enfermedades humanas, principalmente paludismo, en el país durante 1992 se programó la aplicación de alrededor de 100,000 Kg de ingredientes activos siendo el más usado el DDT (99% del volumen total). Los mayores volúmenes de plaguicidas usualmente se aplican en los estados de Veracruz (50%), Tabasco (25%) y Campeche (25%); en relación con la superficie estatal (Calva y Torres 1998).

III.1.3. LOS PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS EN EL AMBIENTE ACUÁTICO

Los plaguicidas organoclorados al ingresar al sistema acuático por diversos mecanismos, ocasionan problemas de contaminación, ya que deterioran la calidad del medio ambiente y provocan efectos nocivos sobre la biota acuática (organismos vegetales y animales) y la salud humana. Entre las rutas de entrada están el arrastre, infiltración y erosión de los suelos, principalmente de los agrícolas que fueron rociados con plaguicidas. El lavado de dichos suelos hace que éstos alcancen los ríos y ecosistemas costeros y marinos; también está el agua utilizada para lavar el material de rociado y que es vertida en estanques, ríos y lagunas; otra ruta es a través de la precipitación proveniente de la atmósfera o por transporte atmosférico.

Otros mecanismos por medio de los cuales los plaguicidas llegan al medio acuático incluyen los restos de estas sustancias que se dispersan en el agua después del rociamiento, derrames accidentales de plaguicidas y por la aplicación directa de éstos en plantaciones situadas en las orillas de los sistemas acuáticos o cuando se añaden a ríos o estanques para matar peces. Una vez que los plaguicidas entran en el ecosistema acuático pueden ser transportados en el agua por advección (movimiento horizontal de los contaminantes disueltos), dependiendo de la velocidad y dirección de las corrientes o por dispersión, que involucra la mezcla de estas sustancias en la columna de agua donde experimentan reacciones



físicas, químicas o biológicas que incluyen fotólisis, oxidación, hidrólisis, volatilización, transformaciones biológicas, adsorción y bioacumulación.

Además de estar reaccionando en el agua, gran parte de estos compuestos se depositan paulatinamente en los sedimentos donde pueden experimentar hidrólisis, degradación anaerobia o se adsorben en partículas húmicas, minerales y arcillas, como el DDT y sus metabolitos, constituyendo así una fuente de sustancias tóxicas que pueden estar disponible para los organismos asociados a los sedimentos (bentos) de los sistemas costeros (Calva y Torres 1998).

III.1.4. TOXICOLOGÍA DE LOS PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS

Los plaguicidas tienen la capacidad inherente de provocar efectos adversos en los seres vivos, de dañar su estructura o funciones, y de provocar su muerte. Su toxicidad depende, entre otros aspectos, de:

- a) Factores (tales como absorción, distribución, almacenamiento, activación, detoxificación) que influyen en la reacción de su forma tóxica final con el sitio “blanco” (ya sea molécula, célula, tejido, órgano o sistema).
- b) Reacción (reversible o irreversible) con los sitios blanco.
- c) Consecuencias bioquímicas o fisiológicas.
- d) Expresión clínica de su toxicidad (efectos agudos y crónicos).

Tales efectos son función además, de la magnitud y duración de la exposición al plaguicida, así como de su vía de ingreso al organismo (oral, dérmica o inhalación). En teoría, los organismos son capaces de tolerar pequeñas dosis de los plaguicidas gracias a la existencia de mecanismos de homeostasis o compensación fisiológica, que incluyen la detoxificación metabólica, la adaptación celular y la reparación. Por ello, se identifica un umbral por debajo del cual no se observan efectos adversos aparentes, en las curvas que relacionan la dosis y los efectos. Por arriba de esa dosis umbral, los mecanismos de compensación se saturan y dan



lugar a la producción de alteraciones en diferentes órganos o sistemas, variando la dosis umbral para cada uno de ellos, y siendo afectados en diverso grado de severidad. Otros factores influyen también en la toxicidad de los plaguicidas, como son la edad, el sexo, el estado nutricional y de salud de los individuos expuestos (SEMARNAT – INE 1999).

Debido a que los plaguicidas organoclorados son compuestos orgánicos hidrofóbicos, tienden a acumularse en el tejido adiposo de los organismos. Como todos los organismos contienen lípidos, captan fácilmente plaguicidas lipofílicos del suelo y del agua de los ambientes. En ciertos ambientes los organismos pueden bioconcentrar estos compuestos solubles en grasa de 10 a 100 veces los niveles detectados en los ambientes. La bioconcentración de los plaguicida se lleva a cabo por inhalación, absorción dérmica ingestión y acción sistémica a través de las superficies de las plantas y raíces, y superficies celulares de los microorganismos; la ingestión de alimento o agua son de particular importancia, siendo los juveniles los organismos de mayor riesgo. Algunos compuestos organoclorados son particularmente tóxicos y sus efectos sobre la biota pueden ser letales o subletales ya que alteran proceso biológicos como la tasa de crecimiento y el intercambio de los iones de Na^+ y K^+ o bien, puede provocar la muerte de los organismos (Calva y Torres 1998).

En el caso del ser humano, existen diversas tipos de exposición a los plaguicidas, como son las agudas o crónicas, las profesionales o no profesionales y las intencionales o no intencionales. La exposición del hombre a los plaguicidas provoca que éstos sean acumulados a partir de tres formas, la oral (por ingestión), la inhalación y la dérmica.

Una vez que los plaguicidas son incorporados en el organismo humano se almacenan en el tejido graso donde suelen ser inactivos. En las épocas de nutrición deficiente o de relativa inanición, los depósitos adiposos se movilizan y los compuestos se liberan, pasando al torrente sanguíneo, con posibilidad de producir efectos tóxicos si la concentración alcanza un nivel suficientemente elevado. En los seres humanos los plaguicidas (principalmente DDT y lindano) provocan diversos efectos, entre los que se incluyen los de tipo cutáneo, caracterizados por reacciones alérgicas y exantemas. Frecuentemente todos los plaguicidas organoclorados producen alteraciones metabólicas al desencadenar la formación de enzimas, así mismo tienen efectos neurológicos que abarcan lesiones del sistema nervioso central (OMS 1992).



III.1.5. ESTUDIOS A NIVEL MUNDIAL

En la zona de estudio no se han realizado estudios de contaminantes orgánicos clorados, sin embargo, en otros estados del país y a nivel mundial sí se han hecho estudios de este tipo.

Ntow (2001) realizó la cuantificación de plaguicidas organoclorados en agua, sedimentos, cultivos de tomate, sangre y leche materna, en la comunidad de Akumadan en Ghana, analizando un total de 208 muestras. Se encontraron lindano y endosulfán en las muestras de agua y sedimentos, mientras que otros compuestos como HCH y p,p'DDE se encontraron también en los sedimentos. El hepóxido de heptacloro fue el único compuesto que se detectó en cantidades apreciables en los cultivos de tomate. Concentraciones significativamente elevadas de HCB y p,p'DDE se encontraron en las muestras de sangre (30 mg/kg y 380 µg/kg, promedio respectivamente), así como en la leche materna, con concentraciones promedio de 40 µg/kg de grasa (1.75 µg/kg del total de la leche) y 490 µg/kg de grasa (17.15 mg/kg del total de la leche), respectivamente.

Rovedatti *et al.* (2001) analizaron plaguicidas organoclorados y organofosforados en agua del Río La Reconquista en Buenos Aires, Argentina, muestreando tres sitios mensualmente durante dos años. De las muestras analizadas, 35% presentaron concentraciones detectables de organoclorados, no encontraron organofosforados y los niveles de plaguicidas fueron de 40 a 400 veces más altos que los límites establecidos para la protección de la vida acuática de ese país. Las concentraciones promedio que encontraron fueron desde 0.0023 µg/L para endrín, hasta 0.01 µg/L para DDT, γ -HCH y heptacloro. Estos últimos, presentaron concentraciones más elevadas en el mes de julio (mayores a 0.86 µg/L para γ -HCH y heptacloro y de 5.6 µg/L para el DDT).

Vilanova *et al.* (2002) realizaron la determinación de contaminantes organoclorados en el agua de tres lagos alpinos remotos, localizados en Los Alpes, Los Pirineos y las Montañas de Caledonia. Los compuestos que midieron fueron α - y γ -HCH, α - y β -endosulfan, así como sulfato de endosulfan, HCB, DDT y sus derivados, y bifenilos policlorados (PCB). Los muestreos se realizaron durante periodos sin y con cobertura de hielo y a diferentes



profundidades en la columna de agua. Las mayores concentraciones de HCH se encontraron en los lagos de los Alpes y los Pirineos (990 a 2900 pg/L), las cuales son de las mayores registradas para aguas continentales. Los isómeros del endosulfan, así como el sulfato de endosulfan (120 a 1150 pg/L) fueron el segundo grupo de los contaminantes organoclorados con mayor concentración, mientras que las concentraciones de HCB, DDTs y PCB (4 a 8, 0.6 a 16, y 26 a 110 pg/L, respectivamente) fueron bajas en comparación con otros tipos de agua continental. Los compuestos más hidrofóbicos mostraron una dependencia directa con la temperatura y los sólidos disueltos en el agua.

Fytianos *et al.* (2006), realizaron un estudio de la presencia de un amplio rango de plaguicidas organoclorados en agua superficial y sedimentos en el Lago Volvi, en el norte de Grecia, así como su variación temporal y espacial. La colecta de muestras se realizó estacionalmente durante un año y utilizaron la técnica de extracción sólido-líquido seguida por la determinación de los compuestos utilizando técnicas de cromatografía de gases con detección de captura de electrones. Los compuestos que encontraron fueron HCB, lindano, β -HCH, heptacloro, metoxicloro y α - endosulfan, mientras que los compuestos α -HCH, aldrín, peróxido de heptacloro, p,p'-DDE, dieldrín, endrín, p,p'-DDD, β -endosulfan, y p,p'-DDT no fueron detectados, con un límite de detección ≥ 1 ng/L. La distribución agua-sedimentos de estos compuestos reflejó, según los autores, la gran capacidad de los sedimentos del lago de adsorber y acumular dichos compuestos.

III.1.4. ESTUDIOS A NIVEL NACIONAL

Rueda *et al.* (1998) analizaron los niveles de varios plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos (*Penaeus vannamei* y *Lutjanos novemfasciatus*) de los sistemas lagunares Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereyra en el Estado de Chiapas, durante el ciclo 1994-1995. La concentración promedio más alta en sedimentos se registró en el sistema Chantuto-Panzacola (120 a 43 ng/g) con respecto a la observada en el sistema Carretas-Pereyra (47.91 ng/g). Con relación a los organismos, *L. novemfasciatus* presentó niveles totales más elevados (93.9 ng/g) que *P. vannamei* (21.42 ng/g). Los compuestos predominantes en sedimentos fueron β -endosulfan, aldrín y epóxido de heptacloro, en *P. vannamei* fueron p,p'-DDE y heptacloro y en *L. novemfasciatus* fueron heptacloro y aldrín.



Botello *et al.* (2000) realizaron un estudio similar al de Rueda *et al.* (1998) en los mismos sistemas lagunares, pero correlacionando la concentración de plaguicidas con el tipo de sedimento y la materia orgánica total de cada estación de muestreo. De acuerdo con sus resultados, la mayor correlación de los compuestos organoclorados se dio con los sedimentos arenosos, sin embargo, esta correlación resultó no significativa ($r=0.66$ para el sistema Chantuto-Panzacola y $r=0.58$ para el sistema Carretas-Pereira).

Calderón *et al.* (2001) identificaron y cuantificaron plaguicidas organoclorados en sedimentos y dos materiales biológicos (*Pomacea patula catemacensis* y *Dorosoma petenense*) del lago de Catemaco en Veracruz. Los compuestos que se identificaron fueron dieldrín, p,p'DDE, p,p'DDD y α -HCH tanto en sedimentos como en biota. A pesar de que casi todas las muestras contenían plaguicidas, sus concentraciones estuvieron por debajo de los niveles de toxicidad. Sin embargo, el músculo de *Dorosoma petenense* presentó una marcada incidencia de dichos compuestos.

Leyva-Cardoso *et al.* (2003) estudiaron los plaguicidas organoclorados presentes en sedimentos costeros de la Bahía de Petacalco en el Estado de Guerrero. Los compuestos que buscaron fueron α -, β -, γ - y δ -HCH, p,p'DDT, p,p'DDE, p,p'DDD, heptacloro, hepóxido de heptacloro, aldrín, dieldrín, endrín, endrín aldehído, α - y β -endosulfan y sulfato de endosulfan. Sus resultados mostraron una diferencia significativa en la concentración total de plaguicidas entre la temporada de lluvias (27.43 ng/g) y de estiaje (1.96 ng/g), siendo ésta más elevada durante el periodo de mayor precipitación pluvial.

Alcántara (2009) realizó un estudio sobre hidrocarburos aromáticos policíclicos y plaguicidas organoclorados en agua y sedimentos del curso alto del río Lerma. Las concentraciones máximas de plaguicidas encontradas, según el tipo de analito y el punto de muestreo, se encontraron entre 32 y 1210 ng/L en agua, y entre 38 y 886 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en los sedimentos. 21 compuestos organoclorados fueron analizados y detectados en el área de estudio. La presencia de los plaguicidas organoclorados da indicios de que estos se han utilizado por periodos prolongados con un uso indiscriminado en las zonas de monitoreo de este estudio a lo largo del Alto Lerma. El estudio muestra que dichas sustancias no han desaparecido, aún cuando la mayoría de ellos están prohibidos actualmente.



IV. HIPÓTESIS

El agua y los sedimentos del meandro del río Lerma en el municipio de La Piedad, Michoacán presentan altos niveles de plaguicidas organoclorados debido a los escurrimientos agrícolas que llegan al cuerpo de agua.



V. OBJETIVOS

Evaluar la concentración y distribución espacial en agua y sedimentos de los principales plaguicidas organoclorados en el meandro del río Lerma en el municipio de La Piedad, Michoacán.

Objetivos específicos

1. Determinar las concentraciones de plaguicidas organoclorados en época lluvias en la zona de influencia del meandro del río Lerma en La Piedad, Michoacán, en el agua y los sedimentos de seis puntos seleccionados.
2. Evaluar los principales parámetros fisicoquímicos de campo y laboratorio en cada uno de los sitios de estudio.



VI. RESULTADOS

VI.1 RESUMEN

El uso de los recursos naturales de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago la ha convertido en una de las más importantes del país, lo que ha tenido como consecuencia el deterioro de ecosistemas, la pérdida de servicios ambientales y el incremento de su vulnerabilidad. La descarga de compuestos orgánicos persistentes (como plaguicidas organoclorados) tiene consecuencias mayores para la salud humana y del medio ambiente. Para la determinación de plaguicidas organoclorados se realizó un muestreo en 6 sitios a lo largo del meandro de La Piedad, Michoacán dentro de la parte baja de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Se tomaron muestras simples de agua, se midieron parámetros de campo y se tomaron muestras de sedimento con un nucleador. A las muestras se les realizaron técnicas de extracción y el extracto se analizó mediante cromatografía de gases. En agua solo se encontraron tres compuestos: dieldrín (sitio 2, julio: 0.248 mg/L), endrín cetona (sitio 4, septiembre: 0.301 mg/L) y p,p'DDE (0.123-0.263 mg/L). En sedimento, únicamente se detectó p,p'-DDE (0.297-0.562 mg/kg peso seco), pero en concentraciones muy elevadas, superando el nivel de efecto severo para fauna bentónica (0.190 mg/kg peso seco). El sitio 1, que es el que se localiza más aguas arriba, presentó concentraciones más elevadas de p,p'-DDE tanto en agua como en sedimentos, indicando que este metabolito está siendo transportado hasta el meandro. El sitio 4 (centro del meandro) parece estar reteniendo p,p'-DDE debido a la acumulación de materia orgánica y el bajo contenido de oxígeno disuelto (Villalobos 2011). Se recomienda realizar un análisis intensivo de plaguicidas organoclorados en la zona para tener un mejor panorama de su comportamiento tanto espacial como temporal, proponer el uso de tecnologías agrícolas que sean más amigables con el ambiente, así como la regulación del uso del agua del río en el riego de cultivos para evitar la llegada de contaminantes a los habitantes de la región por consumo de alimentos contaminados.



VI.2. ABSTRACT

Because of the use of its natural resources, the Lerma-Chapala-Santiago basin has become one of the most important in the country. This has resulted in the decline of ecosystems, loss of ecosystem services and increasing their vulnerability. The discharge of persistent organic compounds (such as organochlorine pesticides) has major consequences for human health and the environment. For the determination of organochlorine pesticides samples were taken at 6 sites along the meander of La Piedad, Michoacán, which is part of the lower Lerma-Chapala-Basin. Simple water samples were taken, field parameters were measured and sediment samples were taken with a sediment core sampler. Extraction techniques were applied to all samples and extracts were analyzed by gas chromatography. In water only three compounds were found: dieldrin (site 2, first sampling, 0,248 mg/L), endrin ketone (site 4, second sampling: 0301 mg / L) and p,p'-DDE (0.123-0.263 mg/L). In sediment, only p,p'-DDE were detected (0.297-0.562 mg/kg dry weight), but at very high concentrations, exceeding the severe effect level for benthic fauna. The site located upstream the flow (site 1) showed high concentrations of p,p'-DDE in both water and sediments, indicating that water reaching the area of La Piedad is already heavily polluted. Site 4 (center of the meander) seems to be holding the p,p'-DDE, due to the high levels of organic matter and low concentration of dissolved oxygen (Villalobos 2011). An intensive analysis of organochlorine pesticides in the area is recommended to have a better look of their behavior. Also, the change of the use of agrochemical products for environmentally friendly technologies is recommended, as well as regulating the use of river water to irrigate crops to make sure that these pollutants will not reach people of the region by polluted food consumption.



VI.3. INTRODUCCIÓN

La descarga de productos químicos conocidos como “sustancias tóxicas persistentes” tiene consecuencias mayores para la salud humana y el medio ambiente. De especial importancia son los denominados compuestos orgánicos persistentes, que como su nombre lo indica, permanecen en el ambiente, resisten a la degradación y tienen efectos tóxicos agudos y crónicos. Muchas sustancias tóxicas persistentes son transportadas a través de largas distancias por la atmósfera y los cuerpos de agua, distribuyéndose globalmente, y pudiendo ser detectados aún en áreas donde nunca fueron utilizadas (Carreño 2008).

Los compuestos persistentes son generalmente muy absorbibles y bioacumulables. Debido a su carácter hidrofóbico pronunciado que se incrementa al elevarse el contenido de sólidos disueltos en el agua, estas sustancias orgánicas tóxicas se encuentran asociadas principalmente a los sólidos en suspensión, sedimentos y organismos (Carreño 2008). Por lo anterior, la descarga de algunas sustancias tóxicas no será perceptible si se analiza solo la columna de agua, mientras que los sedimentos constituyen una excelente fuente de información sobre estas prácticas.

Los plaguicidas organoclorados (POC) son compuestos orgánicos sintéticos que contienen carbono, hidrógeno y cloro (algunos pueden contener oxígeno y/o azufre). Estos compuestos presentan una escasa solubilidad en agua pero elevada solubilidad en disolventes orgánicos, por lo que en los seres vivos son fácilmente acumulados en el tejido adiposo. Presentan además una baja presión de vapor, una gran estabilidad fisicoquímica y alta resistencia al ataque de microorganismos, lo que los hace compuestos altamente persistentes en el ambiente (vida media en suelos: 10 años) (Arias *et al.* 1990, Calva y Torres 1998).

En general, los POC tienen una persistencia mucho mayor que otro tipo de plaguicidas, como los organofosforados o los carbamatos, lo que, conjuntamente con sus características toxicológicas, los hace compuestos muy peligrosos para los organismos vivos de los ecosistemas donde se puedan encontrar. Su alta persistencia, también les permite a los compuestos organoclorados la capacidad de desplazarse a ecosistemas lejanos del lugar donde se aplicaron.



La cuenca Lerma-Chapala se ha convertido en una de las regiones económicas más importantes del país. El Río Lerma, a pesar de estar muy contaminado, sigue siendo indispensable para el riego en muchos estados, incluyendo la zona de estudio (Cotler *et al.* 2006). Lo anterior representa un riesgo tanto para las personas que se dedican a las actividades agrícolas, como para los consumidores de productos regados con agua contaminada.

En este proyecto se estudió la presencia y distribución de plaguicidas organoclorados en agua y sedimentos del meandro de La Piedad, Michoacán.

VI.4. MATERIALES Y MÉTODOS

VI.4.1. SITIOS DE MUESTREO

El área de estudio se ubica dentro del curso del río Lerma establecido en la ciudad de La Piedad, Michoacán. Se realizó un plan estratégico de muestreo, definiendo los seis puntos de toma de muestra de acuerdo a la ubicación de las zonas agrícolas más importantes en el área y su zona de influencia (Fig. 2). El reconocimiento físico de las estaciones seleccionadas se hizo utilizando cartas topográficas y un GPS.

VI.4.2. TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizó de acuerdo a la normatividad vigente (DOF 1981, 2000, 2002) y a los métodos de toma, conservación y almacenamiento de las muestras recomendados para que se tengan resultados confiables, que sean útiles para la caracterización de plaguicidas organoclorados en el río. Se realizaron tres campañas de muestreo durante la época de lluvias, en los meses de julio, septiembre y noviembre del 2010.

Todo el material de vidrio empleado en la determinación de residuos de plaguicidas se lavó con hexano grado analítico como lo indica la Norma Mexicana NMX-AA-071-1981 (DOF 1981). Todo el material se rotuló con los datos correspondientes a sitio de muestreo,



fecha del muestreo, hora de toma y localidad. La preservación de las muestras se realizó almacenándolas a 4°C hasta su análisis, como lo indican la normatividad mencionada.

Agua

Se tomaron muestras simples en el centro de la corriente, directamente con un recipiente de vidrio de 1L con tapa plástica y contratapa de teflón. La muestra se tomó únicamente en la superficie del cuerpo de agua en cada estación de muestreo seleccionada, llenando la botella hasta el borde, tratando de minimizar la presencia de burbujas de aire (DOF 1981).

Sedimento

Para el muestreo, se tomaron muestras simples utilizando un nucleador. La muestra que se consideró para el análisis corresponde a la lámina superior de sedimento con un espesor aproximado de 5 cm y una masa húmeda aproximada de 200 g. El sedimento recolectado se depositó en frascos de vidrio de 500 mL con tapa plástica y contratapa de teflón (DOF 1996).

6.4.3. PARÁMETROS ANALIZADOS

La investigación se enfocó hacia los plaguicidas organoclorados, sin embargo, se realizó también la medición de algunos parámetros fisicoquímicos para complementar la interpretación de los resultados.

Agua

Temperatura. La temperatura de las muestras se determinó *in situ* inmediatamente después de la colecta, con un termómetro de inmersión, de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2000 para la medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (DOF 2000).

Conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto (OD) y sólidos disueltos totales. La conductividad eléctrica, el pH y el oxígeno disuelto se determinaron con un potenciómetro portátil. La calibración para pH se realizó utilizando soluciones buffer para pH (4, 7 y 10). La de oxígeno disuelto con solución buffer a 0 mg/L y para la conductividad eléctrica se calibró el electrodo al aire (0 $\mu\text{s}/\text{cm}$).



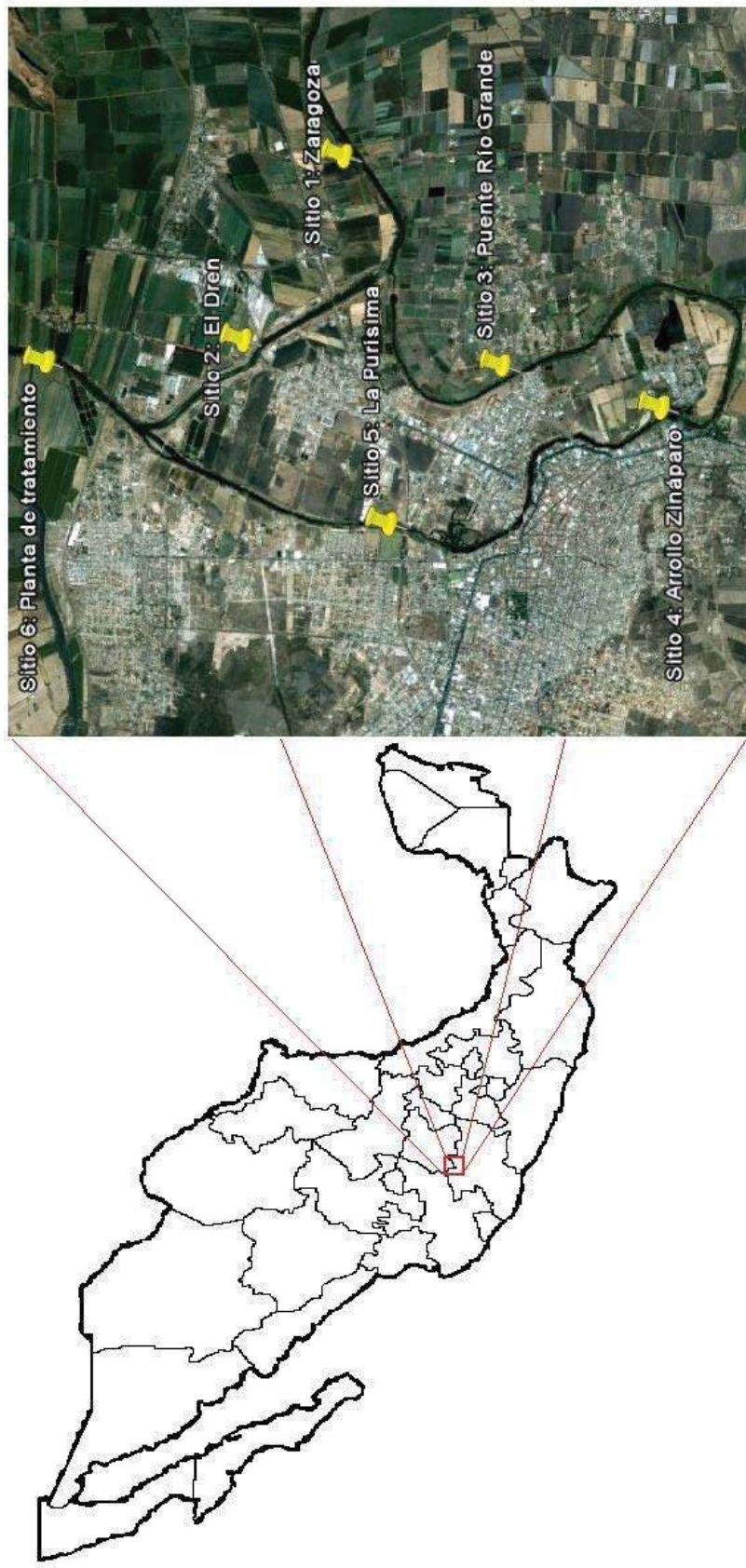


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo en el área de estudio (Fuente: ©2010 Google Earth)

Sedimento

En el caso de los sedimentos, debido a que no fue posible el análisis de los parámetros fisicoquímicos, se utilizaron datos de una serie de muestreos previos realizados por Villalobos (2011) en los mismos puntos que se estudiaron en este trabajo. Las fechas de dichos muestreos corresponden a los meses de febrero, agosto y noviembre de 2009. Los parámetros que se utilizaron, así como los métodos mediante los cuales se obtuvieron se describen a continuación:

pH. Para la medición de pH se utilizó el método 9045d de la EPA, para medir pH en suelo y lodo, debido a que en la normatividad mexicana no hay un método descrito para el análisis de este parámetro. Es un procedimiento potenciométrico para medir el pH en suelos y muestras de desechos. Inmediatamente después de la colecta, la muestra se mezcló con agua desionizada, y el pH de la solución acuosa resultante se midió (EPA 2004).

Análisis granulométrico. La determinación del tamaño de partícula se realizó de acuerdo al método de la pipeta para la determinación del tamaño de partículas (método AS-28) propuesto por la Norma Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (DOF 2002).

Color. Debido a la falta de normas mexicanas respecto a sedimentos (en proceso), esta descripción se realizó utilizando el método de la Tabla Munsell (método AS-22 para suelo) (DOF 2002).

Carbón Orgánico Total. Se determinó calculando la diferencia entre el carbono total y el carbón inorgánico, los cuáles fueron determinados utilizando un coulómetro UIC Modelo 5014.

VI.4.4. DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS

En la Fig. 3 se muestra el procedimiento general para el análisis de plaguicidas organoclorados en agua y sedimentos.



Agua

Extracción de compuestos orgánicos de la muestra de agua. Para la extracción de los compuestos orgánicos de las muestras de agua, se utilizó el método de extracción líquido-líquido con embudo de separación (Método 3510c de la EPA), para aislar analitos orgánicos, posteriormente se realizó la concentración de la fracción ácida, en un equipo Kuderna-Danish para obtener concentrados de 1 a 2 mL y por último la limpieza para eliminar las sustancias ligeramente polares (método EPA-3620 FLORISL CLEANUP) (EPA 2007). En el Anexo 1 se muestra el procedimiento estándar de operación utilizado para el análisis de POC en agua.

Análisis de la muestra. En las muestras de agua, se hizo por medio de cromatografía de gases basado en el método 8081-B de la EPA (Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography), en un Cromatógrafo de Gases marca Finnigan Trace GC Ultra, acoplado a Detector de Captura Electrónica (ECD).

Los estándares de la curva de calibración se prepararon por medio de ampollas certificadas de concentración conocida (Marca Supelco con número de catálogo de analitos y compuestos surrogados 47426-U y 4-8460; y solventes ultra alta pureza Marca Sigma-Aldrich). Los estándares de calibración previamente preparados se inyectaron con un intervalo de trabajo de 0.5-40 µg/L. Los detectores empleados en el análisis son de tipo selectivo en intervalos de µg/L con el detector ECD.

Las columnas analíticas que se utilizaron son del tipo CP-Sil 8 CB de sílica fundida fase equivalente a 5 % fenil, 95 % dimetilpolisiloxano, de 30 m x 0.53 mm ID x 1.50 µm. Con el uso de estándares de calibración se obtuvo el tiempo de retención (t_r) y el coeficiente de determinación (R^2), para cada uno de los 18 compuestos presentes de POC presentes en la ampolla certificada. Para el caso de los POC el incremento del (t_r) está más relacionado con la solubilidad de cada compuesto en el agua, que al peso molecular; conforme aumenta la solubilidad mayor es el t_r , de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas, ya que se utiliza como eluyente al hexano, lo que favorece a la separación de los POC de menor polaridad.

Posteriormente se procedió a realizar la determinación y cuantificación de los POC en las muestras de agua.



Sedimentos

Extracción de compuestos orgánicos de la muestra de sedimento. Para la preparación de los sedimentos primeramente se determinó el porcentaje en peso seco a fin de poder expresar los resultados en peso seco. Posteriormente se realizó la extracción en microondas (método EPA-3546 MICROWAVE), para extraer los compuestos orgánicos en los sedimentos; después se aplicó la técnica de extracción líquido-líquido (Método EPA-3510c), para separar las fracciones ácidas de las básicas. Se procedió entonces a realizar la concentración de la fracción ácida y finalmente la limpieza eliminando la impureza de las muestras (método EPA-3620 FLORISL CLEANUP) (EPA 2007). En el Anexo 1 se esquematiza el proceso estándar de operación para POC en sedimentos.

Análisis de la muestra. El análisis se realizó mediante cromatografía de gases basado en el Método 8081b de la EPA (Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography) (EPA 2007). La determinación y cuantificación de plaguicidas organoclorados se realizó siguiendo el mismo método que se utilizó para agua y utilizando el mismo equipo.

VI.4.5. COMPUESTOS A DETERMINAR

En el Cuadro 3 se muestran los 18 compuestos presentes en la ampollita certificada, es decir, los 18 compuestos cuyas concentraciones se analizaron en las muestras, tanto de agua como de sedimentos.

VI.4.6. MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE TRATAMIENTO DE DATOS

Se realizó un análisis de regresión simple entre las concentraciones de los contaminantes encontrados en las muestras de agua y los parámetros fisicoquímicos, con la finalidad de tener una mejor interpretación de los resultados. El análisis de regresión se realizó en Microsoft Office Excel 2007[©].



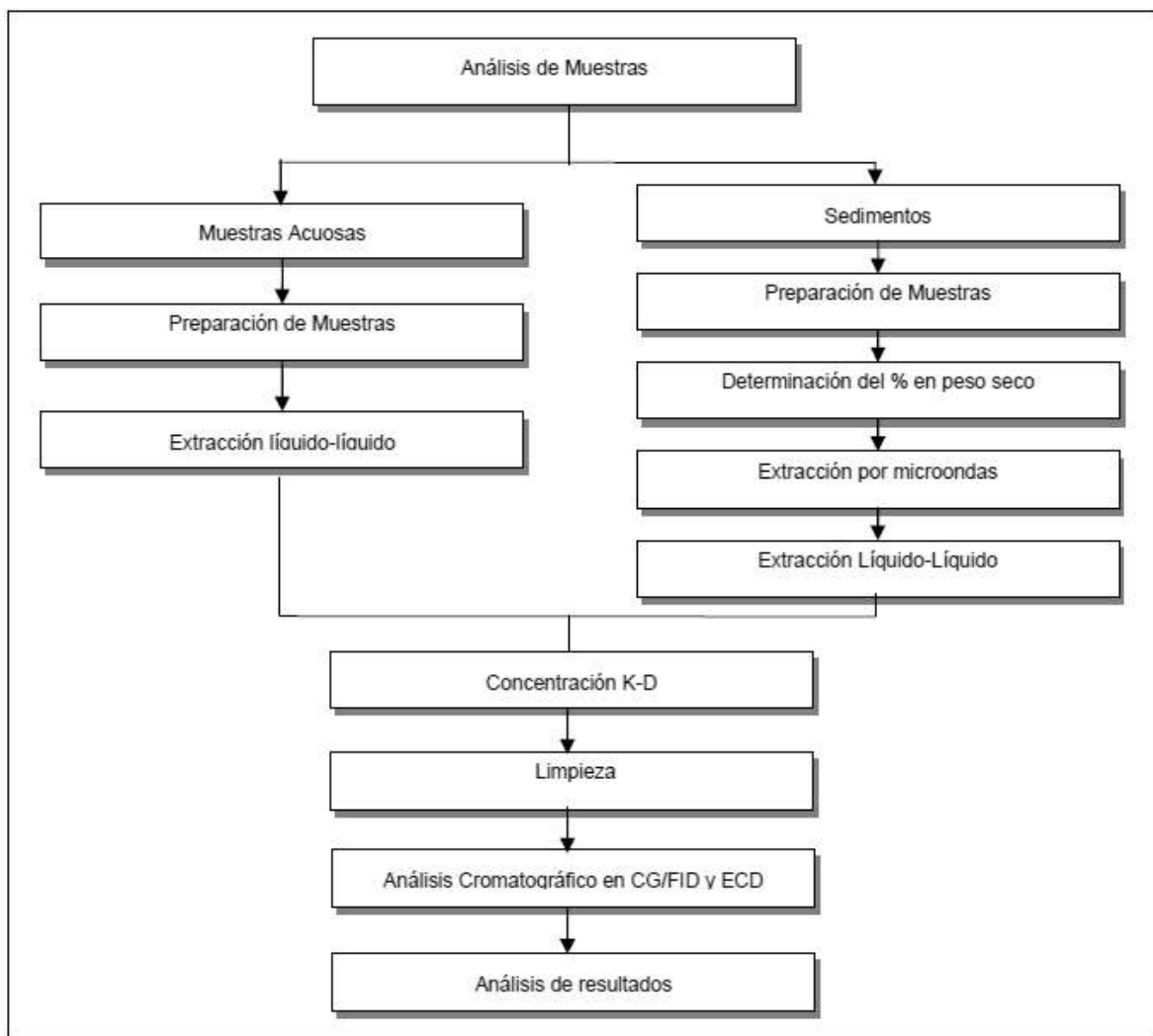


Figura 3. Procedimiento general para el análisis de POC en agua y sedimentos (Alcántara 2009).

Cuadro 3. Plaguicidas organoclorados que se cuantificaron en las muestras.

α -HCH	Aldrin	p,p'-DDT
β -HCH	Dieldrín	p,p'-DDE
γ -HCH (Lindano)	Endrín cetona	p,p'-DDD
δ -HCH	Endosulfán I	Trans-clordano
Heptacloro	Endosulfan II	Cis-clordano
Epóxido de heptacloro	Endosulfán sulfato	Metoxicloro

VI.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI.5.1. AGUA

En las Fig. 4 a 8 se muestran resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua durante el periodo de muestreo.

En el caso de la temperatura del agua, ésta osciló entre los 19 (sitio 1, noviembre) y los 26.1°C (sitio 5, julio), observándose un descenso de este parámetro del primer al último muestreo (Fig. 4), debido al descenso de la temperatura ambiental propio del cambio de estación de verano a otoño correspondiente a la época de los muestreos.

El pH presentó valores que oscilaron entre 5.5 (sitio 4, julio) y 7.6 (sitio 5, noviembre), manteniendo una tendencia ácida durante todo el periodo de muestreo (Fig. 5). En este caso, la acidez del medio proviene del agua de lluvia y de la oxidación de la materia orgánica, la cual produce dióxido de carbono, así como de la mineralización de la materia nitrogenada (iones nitrato y nitrito) que produce iones hidrógeno H^+ por lo que se observa que éste es un cuerpo de agua con mayor captación de agua de lluvia.

La concentración de oxígeno disuelto (OD) osciló entre 0.49 (sitio 3, julio) y 10.09 mg/L (sitio 4, noviembre). Como puede observarse en la Fig. 6, las concentraciones de este parámetro se incrementaron del primer al tercer muestreo, debido a la relación inversa existente entre éste y la temperatura del agua (Manahan 2000).

Lo anterior, indica que en el mes de noviembre se presentaron concentraciones de oxígeno y valores de pH superiores a la neutralidad, en las que se puede favorecer la descomposición de la materia orgánica, excepto en el sitio 4 donde el valor de pH es ligeramente ácidos, lo que retarda las reacciones de oxidación (Strum y Morgan, 1996).



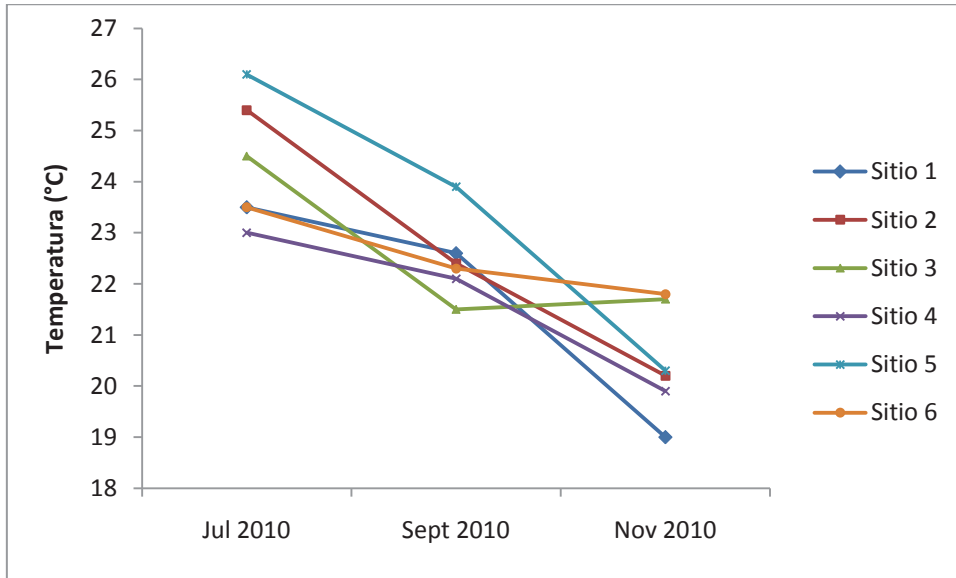


Figura 4. Temperatura del agua en los seis sitios de muestreo durante los tres periodos de estudio.

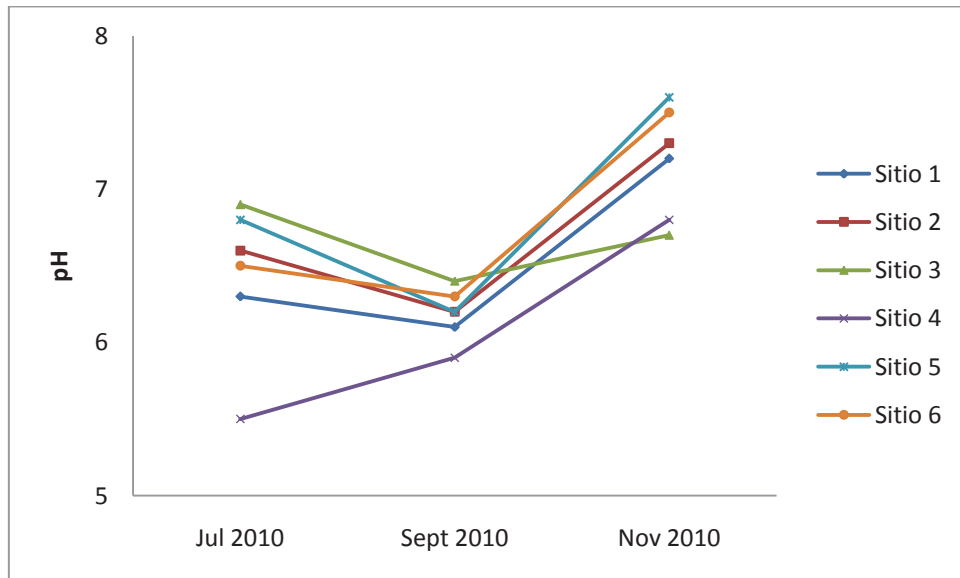


Figura 5. pH en el agua en los seis sitios de muestreo, durante los tres periodos de estudio.



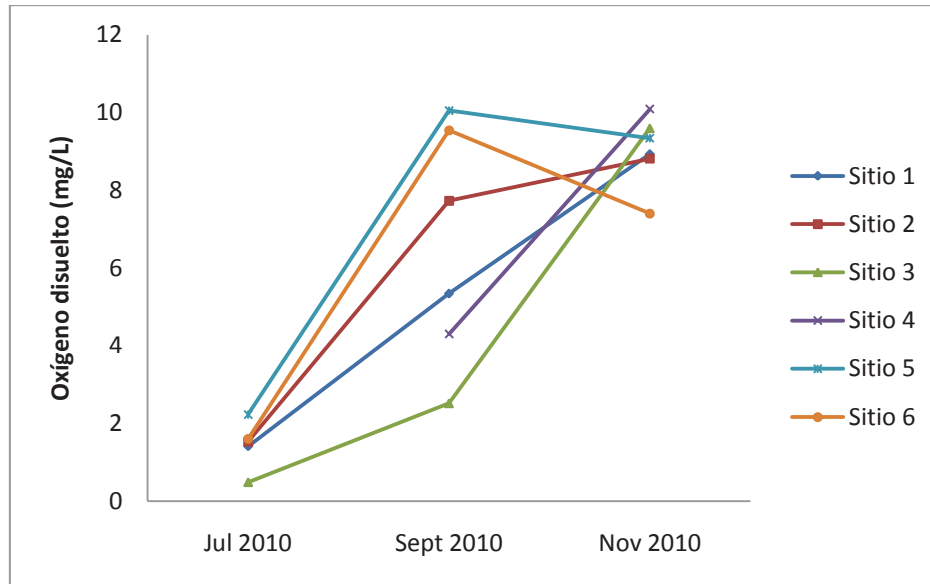


Figura 6. Concentración de oxígeno disuelto en el agua de los seis sitios de muestreo durante los tres periodos de estudio.

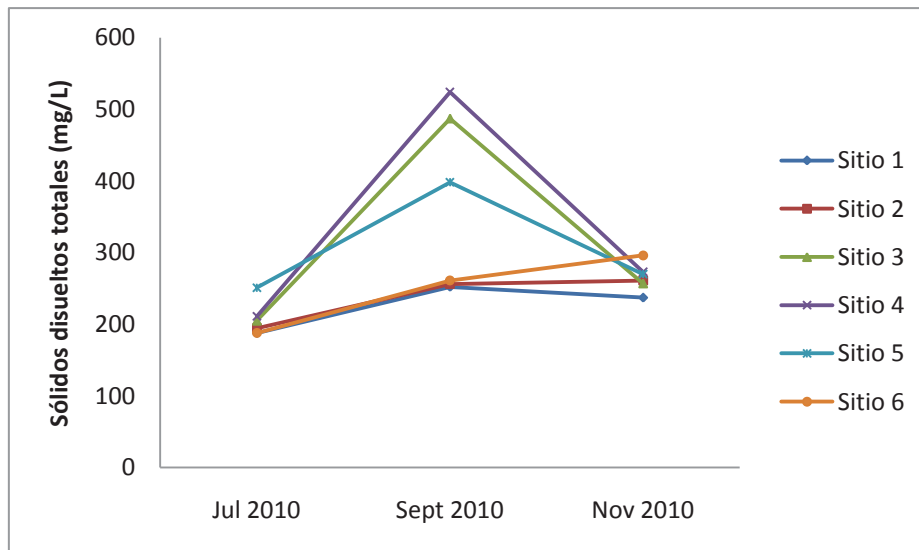


Figura 7. Concentración de sólidos disueltos totales en agua del los seis sitios, durante los tres periodos de estudio.



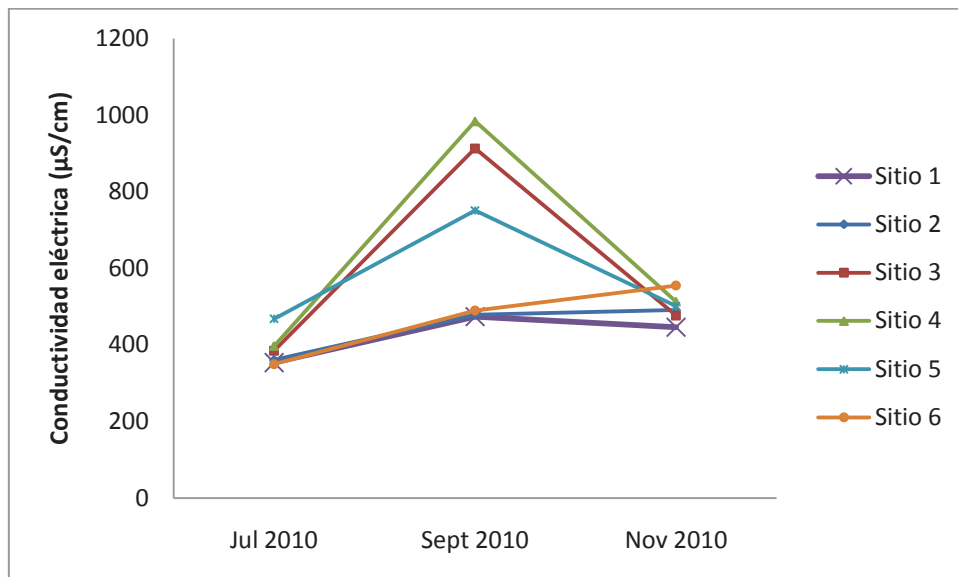


Figura 8. Conductividad eléctrica del agua en los seis sitios de muestreo, durante los tres periodos de estudio.

La concentración de sólidos disueltos totales (SDT) osciló entre 187.3 (sitio 1, julio) y 524 mg/L (sitio 4, septiembre). Su comportamiento a lo largo de los muestreos muestra un pico de concentración en septiembre, principalmente en los sitios 3, 4 y 5, que son los que se localizan al interior del meandro. Este pico puede ser explicado debido a que el mes de septiembre de 2010 fue un mes de intensas lluvias en la zona, lo que pudo favorecer los escurrimientos y por lo tanto, el arrastre de sólidos al cuerpo de agua, así como la resuspensión de los sedimentos.

La conductividad eléctrica (CE) presentó un comportamiento similar a los SDT, debido a que ésta es una medida de la concentración de iones disueltos en el agua. La CE varió de 350 a 984 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ (sitio 6, julio y sitio 4, septiembre, respectivamente).

El contenido de sólidos disueltos en el sitio 4 en el mes de septiembre fue mayor, lo cual incrementa las posibilidades de encontrar a los compuestos organoclorados en el sedimento, debido a que se incrementa su carácter hidrofóbico.



En el Cuadro 4 se resumen los sitios en que se detectó alguno de los 18 compuestos organoclorados analizados, tanto en el caso de las muestras de agua como de sedimentos, así como sus respectivas concentraciones y la fecha de muestreo a que corresponden. En los sitios que no aparecen en el cuadro, no se detectó ninguno de los compuestos analizados.

En el muestreo de julio, tres sitios resultaron positivos para p,p'-DDE (sitio 1: 0.1283, sitio 2: 0.1232 y sitio 6: 0.1548 mg/L) y uno para dieldrín (sitio 2: 0.2478 mg/L), mientras que en el muestreo de agosto, el sitio 1 resultó positivo para p,p'-DDE (0.263 mg/L) y el sitio 4 para endrín cetona (0.301 mg/L). En el caso noviembre, el sitio 1 y el sitio 4 resultaron positivos también para p,p'-DDE (0.254 y 0.256 mg/L respectivamente).

El p,p'-DDE (diclorodifenil dicloroetileno) se encuentra como impureza del p,p'-DDT, además de ser el principal producto de degradación del mismo en el ambiente. De acuerdo con datos de EPA (1980), la toxicidad aguda del p,p'-DDE para organismos de agua dulce se da a concentraciones menores a 1.05 mg/L, y mucho menores en el caso de especies más sensibles, además, se ha encontrado que el p,p'-DDE constituye del 50 al 90% de los metabolitos del p,p'-DDT encontrados en peces. El Integrated Risk Information System (EPA) cataloga al p,p'-DDE como posible carcinógeno en humanos, basado en evidencias de su carcinogenicidad en animales. Por lo anterior, el criterio para protección de organismos de agua dulce para el p,p'-DDT y sus metabolitos es de 1×10^{-6} mg/L (EPA 1980a).

De acuerdo con lo anterior, todas las concentraciones de p,p'-DDE encontradas en este estudio sobrepasan el límite para la protección de los organismos de agua dulce (1×10^{-6} mg/L). Sin embargo, considerando que el p,p'-DDT no se detectó en ninguno de los sitios de estudio, se puede asumir que el p,p'-DDE que se encuentra actualmente en el sistema es debido a la degradación de p,p'-DDT aplicado no recientemente. Según el Catálogo de Plaguicidas de la CICOPLAFEST (2004) el p,p'-DDT se encuentra restringido para uso exclusivo de la Secretaría de Salud (SS) en campañas sanitarias (está prohibida su comercialización), pero dicha dependencia gubernamental utilizó intensamente este compuesto en campañas de eliminación del mosquito transmisor de la malaria (Calva y Torres 1998).



Cuadro 4. Concentración de plaguicidas organoclorados presentes en las muestras de agua y sedimento.

Muestreo	Sitio	p,p'-DDE		Dieldrín	Endrin cetona
		Agua mg/L	Sedimentos mg/kg peso seco	Agua mg/L	Agua mg/L
Julio	Sitio 1	0.128			
	Sitio 2	0.123		0.248	
	Sitio 6	0.155			
Agosto	Sitio 1	0.263	0.514		
	Sitio 4				0.301
Septiembre	Sitio 1	0.254	0.530		
	Sitio 3		0.339		
	Sitio 4	0.256	0.562		
	Sitio 5		0.544		
	Sitio 6		0.297		

El dieldrín y el aldrín han sido dos de los insecticidas domésticos más ampliamente usados, y aunque el aldrín se usó más que el dieldrín, el primero se degrada rápidamente en el segundo, cuya elevada persistencia en el ambiente se debe a su extremadamente baja volatilidad y baja solubilidad en agua. Además, al ser el dieldrín extremadamente apolar, resulta tener una elevada afinidad por la grasa, lo que favorece su retención en el tejido graso de los organismos, provocando una acumulación progresiva en la cadena alimenticia, lo que puede derivar en la elevación de la concentración de dicho compuesto más allá del límite letal para un consumidor (EPA 1980). El Integrated Risk Information System (EPA) también clasifica al dieldrín como probable carcinógeno en humanos. Según el Catálogo de Plaguicidas, el dieldrín está catalogado como un plaguicida prohibido (su importación, fabricación, formulación, comercialización y uso) en México desde 1991 (CICOPLAFEST 2004).

Por lo anterior, la EPA (1980) determinó que la concentración límite de dieldrín para la protección de los organismos de agua dulce es de 0.0025 mg/L, por lo que la concentración de dicho compuesto encontrada en este estudio (sitio 2: 0.2478 mg/L), rebasa dicho criterio. Sin embargo, al igual que en el caso del p,p'-DDE, se puede considerar que la presencia de dieldrín en el sistema no se debe a aplicaciones recientes, ya que el dieldrín es uno de los



insecticida más estables entre todos los ciclodienos (el tiempo requerido para que el 95% del dieldrín aplicado desaparezca del suelo, se ha estimado que varía de 5 a 25 años, dependiendo del tipo de suelo y de los microorganismos presentes en el mismo) (EPA 1980).

El endrín como insecticida se ha usado principalmente en cultivos de algodón, maíz, caña de azúcar, arroz, cereales, plantas de ornato y otros; además se ha utilizado como veneno contra ratas y aves. El endrín liberado en ambientes acuáticos (principalmente asociado a partículas de suelo en escurrimientos agrícolas) no se hidroliza ni biodegrada, sino que se transforma por fotoisomerización en endrín cetona (EPA 1980b). Según el Catálogo de plaguicidas, el endrín también está catalogado como un plaguicida prohibido (su importación, fabricación, formulación, comercialización y uso) en México 1991 (CICOPLAFEST 2004).

No existe un límite establecido para las concentraciones de endrín cetona, pero para el endrín, la EPA (1980b) estableció un criterio para la protección de organismos de agua dulce de 1.8×10^{-4} mg/L, por lo que la concentración encontrada en este trabajo (sitio 4: 0.301 mg/L) supera dicho criterio.

Con respecto a la relación existente entre las concentraciones de p,p'-DDE con los parámetros fisicoquímicos de agua, como se observa en la Fig. 9, la temperatura tiene una correlación negativa con este compuesto ($R^2=0.670$), que aunque no es significativa, se explica debido a que solubilidad del p,p'-DDE en el agua está dada por enlaces dipolo-dipolo, los cuales pierden fuerza y se rompen al aumentar la temperatura del agua.

En el caso del pH, este parámetro no muestra ninguna correlación con la concentración de p,p'-DDE (Fig. 10), debido a que este tipo de compuestos no son ionizables, por lo que los cambios en el pH no afectan su solubilidad, sino su degradabilidad que es muy lenta y que únicamente podría aumentar un poco a valores de pH alcalinos.

Por otro lado, los sólidos disueltos totales (SDT) parecen explicar la concentración del p,p'-DDE en el agua ($R^2=0.8663$), debido a que, al ser éste un compuesto no polar, su carácter hidrofóbico se incrementa al aumentar la concentración de SDT, por lo que éste tiende a asociarse con las partículas de suelo, más que a estar en disolución en el agua (Fig. 12). Debido a que los muestreos se llevaron a cabo en la temporada de precipitación pluvial, y a que este periodo es cuando los valores de SDT son más elevados, se puede concluir que el



p,p'-DDE entra al río por arrastre de partículas de suelo y que su presencia en la columna de agua está dada principalmente por las partículas suspendidas.

En cuanto a la distribución espacial del p,p'-DDE en el agua (Fig. 13), el sitio 1 fue el único que presentó concentraciones detectables durante todo el periodo de muestreo y se observa que es una zona rodeada de tierras de cultivo, cuyos escurrimientos podrían estar afectando causando los altos niveles del contaminante en el meandro.

Por otro lado, el sitio 4 presentó concentraciones elevadas tanto de p,p'-DDE en noviembre, como de endrín cetona en septiembre, y al encontrarse entre dos sitios donde no se observaron concentraciones detectables de ningún contaminante analizado, se podría considerar que las características de esta zona favorecen la acumulación de compuestos orgánicos persistentes, en consecuencia, es una zona contaminada. Cabe mencionar que este sitio se encuentra cerca del lugar donde el arroyo Zináparo se une al Lerma, por lo que este arroyo puede estar aportando concentraciones importantes de plaguicidas al cauce del río. Además, el sitio 4 es el único dentro del meandro que presentó contaminación por plaguicidas organoclorados debido a que las condiciones fisicoquímicas favorecen su presencia. Esto también puede indicar que los contaminantes que vienen de aguas arriba del cauce no llegan al meandro, sino que son desviados por la corriente a través del canal que corta el río antes de entrar en lo que es propiamente el meandro.

Otra fuente importante de p,p'-DDE pueden ser las granjas porcinas, ya que el DDT se ha utilizado también para el control de insectos en este tipo de actividades. Pérez (2006) reporta que se han identificado 30 descargas de aguas negras que llegan al Lerma provenientes de granjas porcinas, de las cuales 22 se generan en Santa Ana Pacueco y 8 en La Piedad, las cuales están concentradas hacia la zona sureste del meandro.



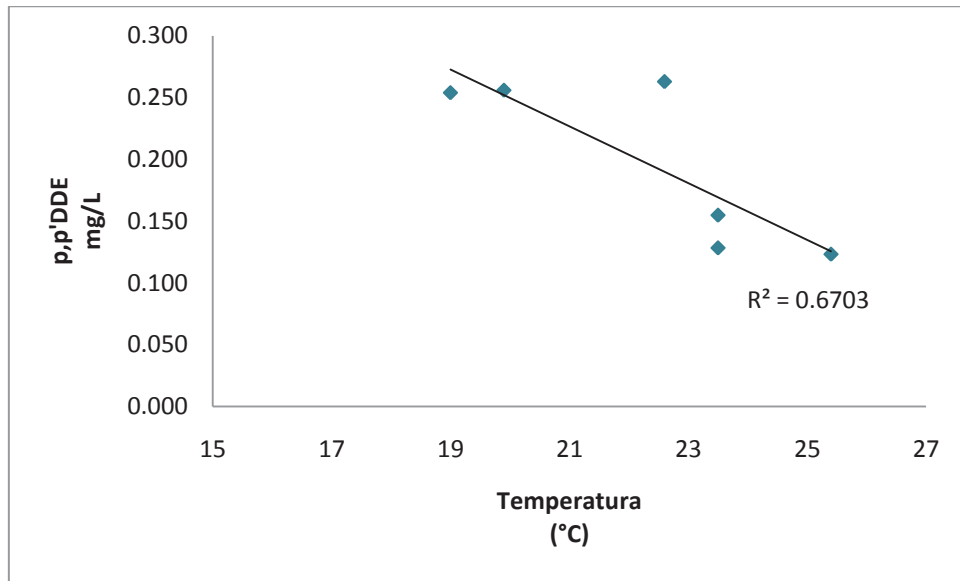


Figura 9. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de las concentración de p,p'-DDE en las muestras de agua contra los valores de temperatura (T°C) encontrados.

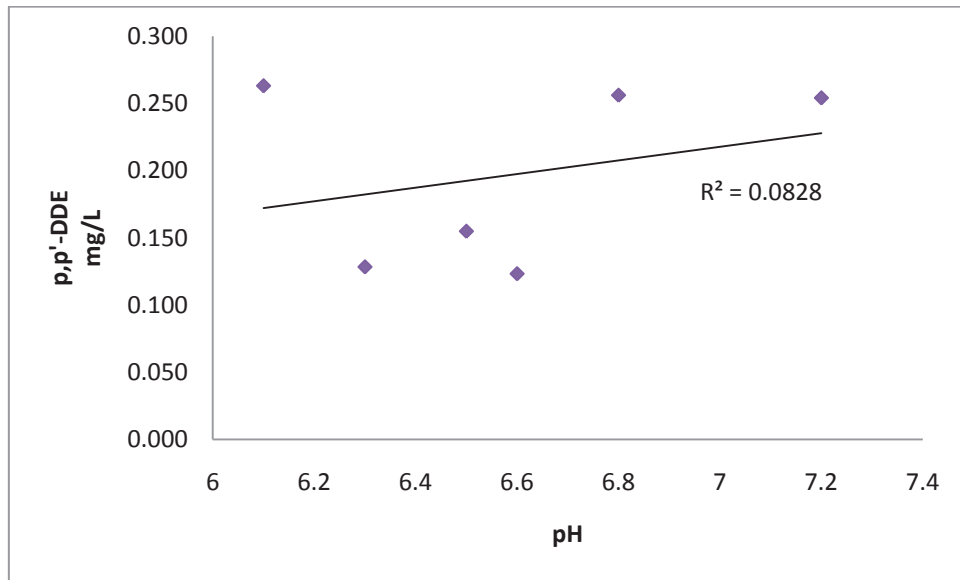


Figura 10. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de las concentración de p,p'-DDE en las muestras de agua contra los valores de pH encontrados.



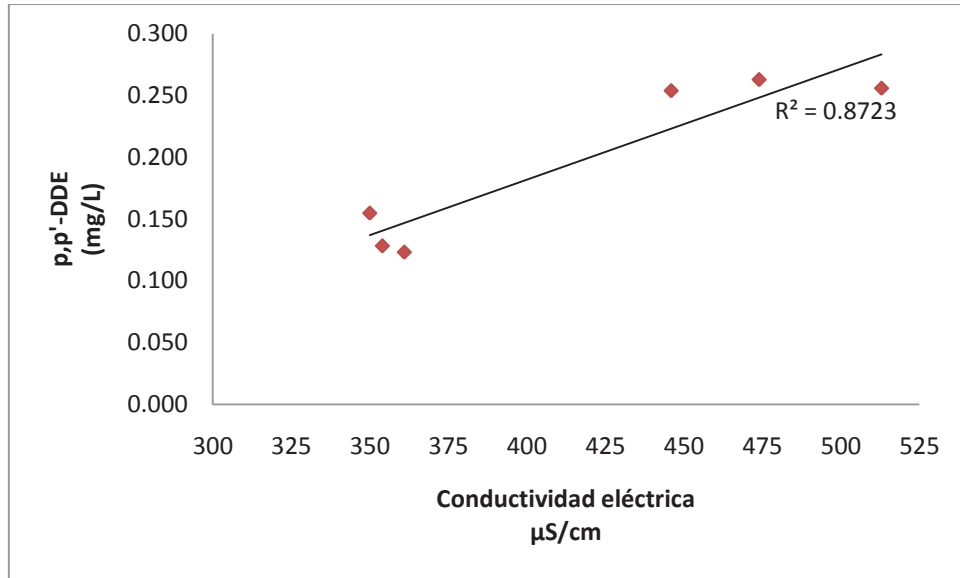


Figura 11. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de las concentración de p,p'-DDE en las muestras de agua contra los valores de conductividad eléctrica (CE) encontrados.

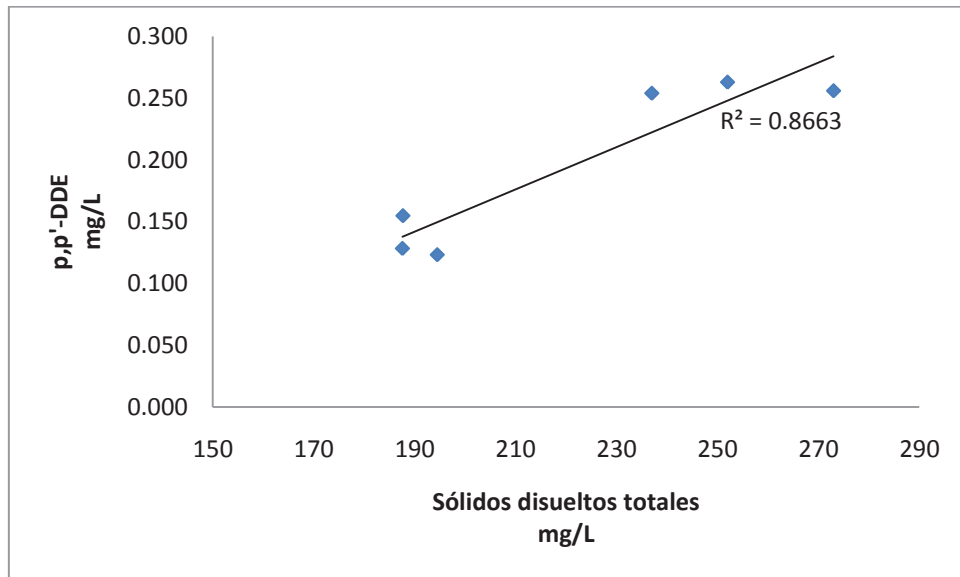


Figura 12. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de las concentración de p,p'-DDE en las muestras de agua contra los valores de sólidos disueltos totales (SDT) encontrados.



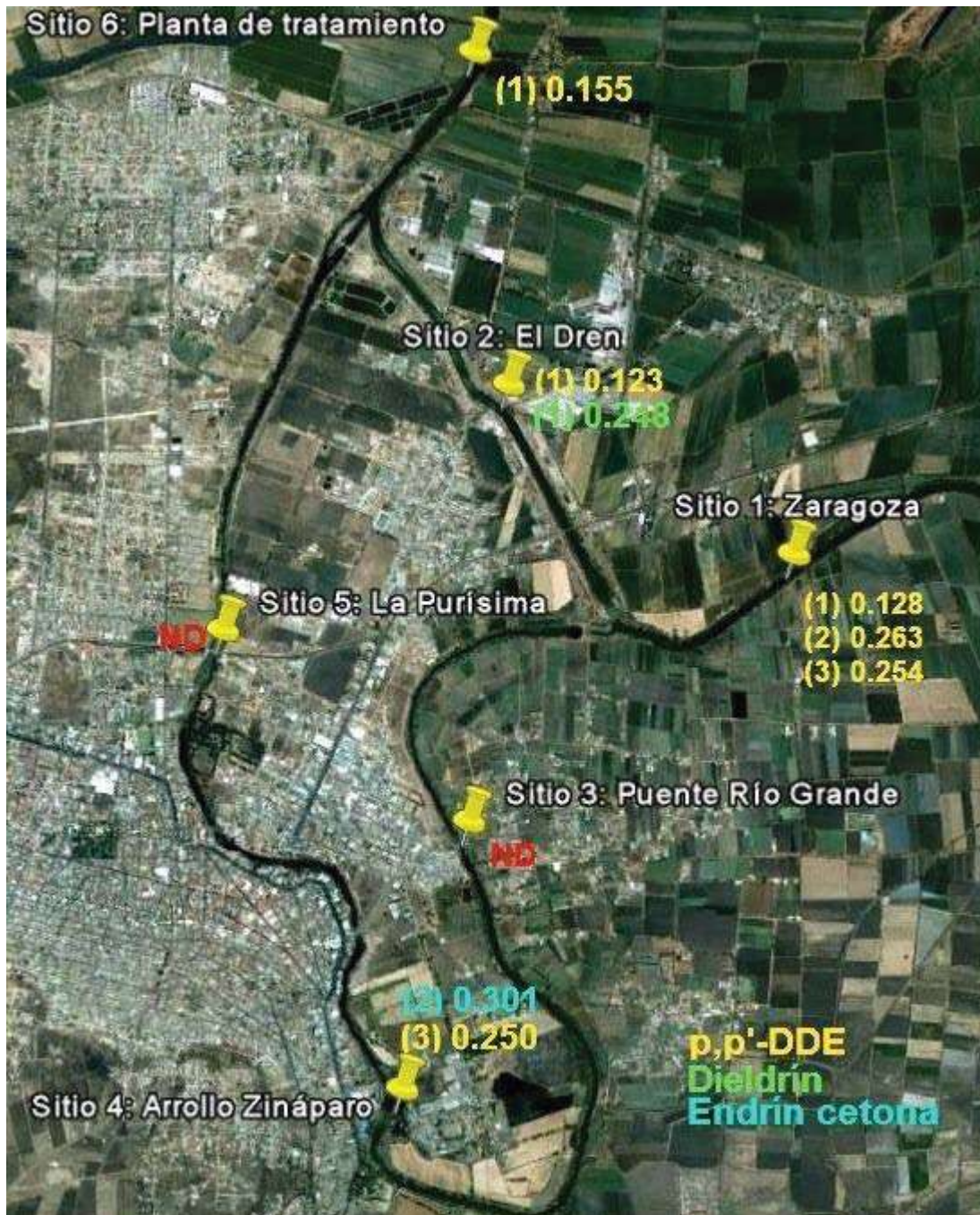


Figura 13. Distribución espacial de los compuestos encontrados en las muestras de agua. El número entre paréntesis corresponde al número de muestreo. ND: No se detectó ningún compuesto en estos sitios. (Fuente: ©2010 Google Earth)

VI.5.2. SEDIMENTOS.

En los cuadros 5, 6, 7 y 8 se muestran los resultados de pH, color, textura y carbono orgánico total para cada uno de los seis sitios de muestreo. Los datos provienen de un muestreo que se realizó en febrero de 2009 y cuyos datos se utilizaron para complementar la discusión de las concentraciones de plaguicidas organoclorados en los sedimentos.

Cuadro 5. Valores de pH en sedimentos de los seis sitios, en un muestreo comparativo en febrero de 2009.

Sitio	T ° C	Valor de pH	CATEGORÍA
1	28	7.17	Neutro
2	28	6.17	Moderadamente ácido
3	28.2	6.46	Neutro
4	28.2	6.76	Neutro
5	28	6.96	Neutro
6	28.3	5.89	Moderadamente ácido

Cuadro 6. Color de los sedimentos de los seis sitios de muestreo, durante un muestreo comparativo en febrero de 2009.

Sitio	Determinación	Matiz (Hue)	Brillo (Value)	Intensidad (Chroma)	Color
Sitio 1	Seco	10 YR	5	1	Gris
	Húmedo	11 YR	3	1	Gris muy oscuro
Sitio 2	Seco	10 YR	5	1	Gris
	Húmedo	7.5 YR	3	1	Gris muy oscuro
Sitio 3	Seco	10 YR	5	1	Gris
	Húmedo	11 YR	3	1	Gris muy oscuro
Sitio 4	Seco	10 YR	3	1	Gris muy oscuro
	Húmedo	11 YR	3	1	Gris muy oscuro
Sitio 5	Seco	10 YR	4	1	Gris oscuro
	Húmedo	7.5 YR	3	1	Negro
Sitio 6	Seco	10 YR	5	1	Gris
	Húmedo	7.5 YR	3	1	Gris muy oscuro

El pH de los sedimentos presentó valores neutros en su mayoría, a excepción de los sitios 2 y 6, que presentaron valores de pH moderadamente ácidos (Cuadro 5). El color varió



del gris al negro, siendo el sitio 5 el que presentó la coloración más oscura (Cuadro 6). En general, los colores oscuros de los sedimentos se deben a elevadas concentraciones de materia orgánica. En cuanto a la textura de los sedimentos, éstos se reportaron predominantemente arcillosos, a excepción del sitio 2, con una textura franco-arcillo-arenosa (Cuadro 7).

Cuadro 7. Textura de los sedimentos en los seis sitios durante un muestreo comparativo en febrero de 2009.

Sitio	Arenas(%)	Limos(%)	Arcillas(%)	Total(%)	Textura
1	8	20	72	100	Arcilla
2	59	12	29	100	Franco arcillo arenoso
3	7	7	86	100	Arcilla
4	1	1	98	100	Arcilla
5	7	26	67	100	Arcilla
6	8	19	73	100	Arcilla

Cuadro 8. Datos de carbono total, carbono inorgánico y carbono orgánico (en porcentaje en peso) de los seis sitios, en dos muestreos comparativos

Muestreo	Sitio	Muestra (mg)	Carbono total (%w)	Carbono inorgánico (%w)	Carbono orgánico (%w)
Ago 2009	Sitio 1	20	1.95	0.00	1.95
	Sitio 2	20	6.37	0.00	6.37
	Sitio 3	20	1.12	0.00	1.12
	Sitio 4	20	1.06	0.00	1.06
	Sitio 5	20	1.90	0.00	1.90
	Sitio 6	20	3.59	0.00	3.59
Nov 2009	Sitio 1	20	4.09	0.00	4.09
	Sitio 2	20	8.76	0.00	8.76
	Sitio 3	20	3.14	0.00	3.14
	Sitio 4	20	1.63	0.00	1.63
	Sitio 5	20	2.45	0.00	2.45
	Sitio 6	20	4.22	0.00	4.22

En cuanto a los valores de carbono orgánico total, éstos variaron del 1.06 al 8.76% (Cuadro 8). Tanto en agosto como en noviembre de 2009, el sitio 2 fue el que presentó los porcentajes más altos de carbono orgánico (6.37 y 8.76% respectivamente).



En el caso de los plaguicidas organoclorados, durante septiembre, solamente el sitio 1 presentó concentraciones de p,p'-DDE (0.5141 mg/kg peso seco). Los demás compuestos no se detectaron en ninguno de los sitios analizados. Sin embargo, en noviembre este mismo compuesto se detectó en todos los sitios, excepto el sitio 2 (sitio 1: 0.530, sitio 3: 0.339, sitio 4: 0.562, sitio 5: 0.544 y sitio 6: 0.297 mg/kg peso seco) (Cuadro 4).

El p,p'-DDE se ha encontrado en sedimentos en varios cuerpos de agua (Rueda, et al., 1998; Calderón, et al., 2001; Ntow, 2001; Leyva-Cardoso et al., 2003; Fytianos, et al., 2006; Alcántara, 2009), debido a su elevada capacidad de adsorción en las partículas de sedimentos, ya que las arcillas tienen alta afinidad por la materia orgánica y ésta favorece la retención de compuestos orgánicos persistentes, como se puede apreciar en el muestreo de noviembre, donde se presentó mayor contenido de carbono orgánico (Cuadro 8) y mayor contenido de p,p'-DDE (Cuadro 4).

Cuadro 9. Valores guía de concentraciones de p,p'-DDE en sedimentos ($\mu\text{g}/\text{kg}$ peso seco) dados por diferentes organismos internacionales.

Canadian Sediment Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CCME 2002)				
ISQG	PEL	% = ISQG	ISQG < % < PEL	% = PEL
1.42	6.75	6		
(-0.00142)	(-0.00675)	(-0.006)	20	47
Sediment Quality Guidelines/National Status and Trend Program (NOAA 1999)				
Porcentaje de incidencia de efectos según el nivel dado				
ERL	ERM	<ERL	ERL-ERM	>ERM
2.2	27			
-0.0022	-0.027	5	50	50
United States Geological Survey (Ingersoll <i>et al.</i> 2000)				
PEL	SEL	TET	ERM	
0.75	190	50	15	
-0.00075	-0.19	-0.05	-0.015	

ISQG: Valores guía provisionales para calidad de sedimentos de agua dulce. PEL: Valor de efecto probable. %: incidencia de efectos biológicos a estos niveles. ERL: Concentración por debajo de la cual raramente ocurren efectos adversos. ERM: Concentración por encima de la cual frecuentemente ocurren efectos adversos. SEL: Nivel de efecto severo. TET: Umbral de efecto tóxico. Los valores entre paréntesis corresponden a las concentraciones expresadas en mg/kg de peso seco.



Comparando los valores obtenidos en este trabajo con los valores guía para calidad de sedimentos de agua dulce dados por diferentes organismos internacionales (Cuadro 9), se puede observar que todas las concentraciones se encuentran por encima de los niveles recomendados, incluso del nivel de efecto severo, que es la concentración a la que se esperan efectos pronunciados en la comunidad bentónica. Las concentraciones de p,p'-DDE en sedimentos en el sitio 1 (el primer sitio aguas arriba de la corriente) presenta concentraciones mucho más elevadas que el sitio 6 (el último sitio aguas abajo de la corriente), mientras que el sitio 2 no presentó concentraciones detectables de este ni ningún otro compuesto, lo que puede deberse a que, como el mayor volumen de agua corre por el canal y no así por el meandro, la velocidad de corriente no permite la sedimentación de los sólidos, por lo que la mayor parte de los contaminantes se queda en la columna de agua.

Por otro lado, en los sitios localizados propiamente en el meandro (sitios 3, 4 y 5), se encontraron también concentraciones elevadas de p,p'-DDE, lo que indica que la poca velocidad de corriente de esta zona (en estiaje, el agua prácticamente se estanca) favorece la sedimentación de los sólidos, por lo que los contaminantes asociados a partículas de suelo, como lo son los plaguicidas organoclorados, no son desplazados mucho más allá de los lugares por donde están entrando en la corriente. Por lo tanto, se puede señalar que los contaminantes encontrados en la zona interna del meandro sean contaminantes locales.

Al relacionar las concentraciones de p,p'-DDE encontradas en sedimentos con el tipo de textura de los mismos, se observó una correlación negativa con el porcentaje de arenas (Fig. 14). Por otro lado, con las arcillas no se observó una correlación significativa (Fig. 15), aunque sí una tendencia a incrementarse la concentración de p,p'-DDE conforme aumenta el porcentaje de arcillas presentes en los sedimentos.

Para el caso del carbono orgánico total, en este trabajo se encontró una correlación negativa significativa entre éste y la concentración de p,p'-DDE de los sedimentos (Fig. 16). Esto parece estar dado por el sitio 2, que es el sitio donde en el muestreo comparativo se encontró el mayor porcentaje de carbón orgánico total (8.76%), y que en este estudio fue un sitio donde no se detectó p,p'-DDE. Sin embargo, esta relación puede no ser verdadera, dado que los datos de COT utilizados en el análisis de regresión son de un año antes al muestreo para el análisis de p,p'-DDE.



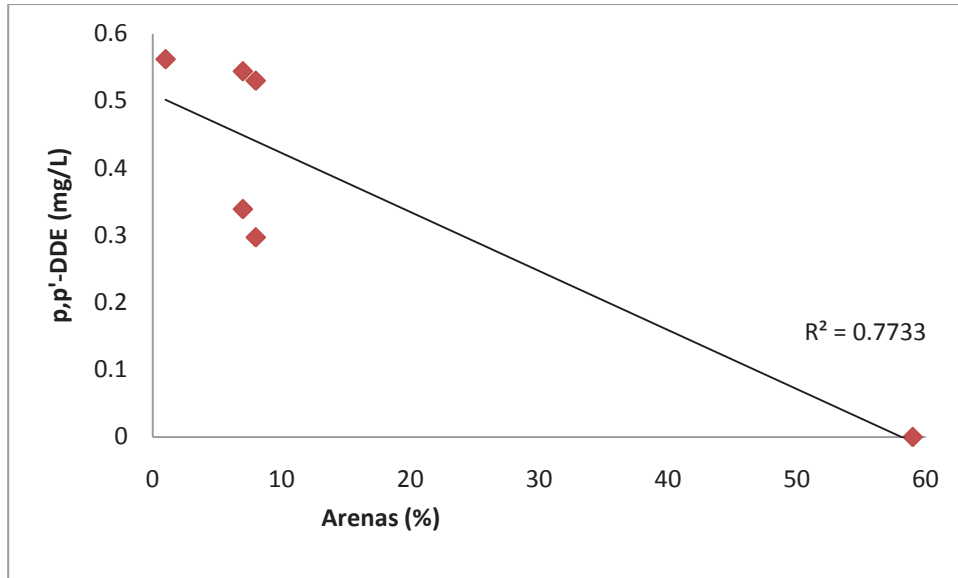


Figura 14. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de las concentración de p,p'-DDE y los porcentaje de arenas en las muestras de sedimento.

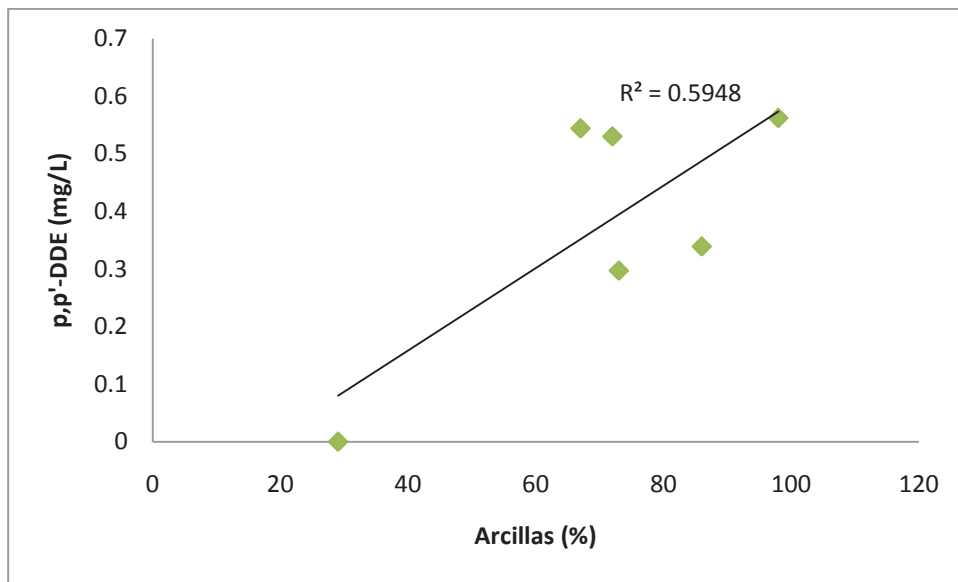


Figura 15. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de las concentración de p,p'-DDE y el porcentaje de arcillas en las muestras de sedimento.



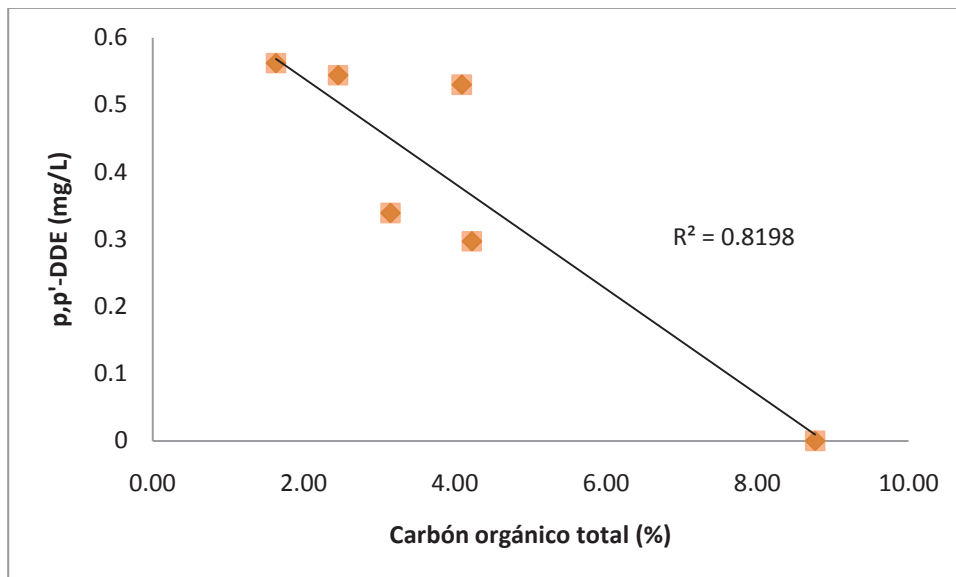


Figura 16. Análisis de regresión y coeficiente de correlación de las concentraciones de p,p'-DDE y los porcentajes de p,p'-DDE en las muestras de sedimento.

Analizando en conjunto la distribución espacial del p,p'-DDE, tanto en agua como sedimentos (Fig. 13 y 17), puede decirse que el agua llega a la zona del meandro con elevadas concentraciones del contaminante pero debido a que la sedimentación se ve favorecida por las características físicas de la zona (altas concentraciones en sedimento), el agua que llega a la zona del canal presentó concentraciones menores. Además en la zona del canal, por la velocidad de la corriente y el volumen de agua transportado, la sedimentación de los sólidos no se llevó a cabo (concentraciones no detectables en sedimentos).

Por otro lado, cerca del sitio 4 parece haber una fuente importante de p,p'-DDE, ya que se encontraron concentraciones elevadas tanto en agua como en sedimentos, mientras que en el sitio anterior aguas arriba no se detectó dicho contaminante (ni ningún otro). La acumulación de este metabolito se pueden deber tanto a las condiciones fisicoquímicas del lugar y a la presencia de materia orgánica, como al aporte del arroyo Zináparo, cuya confluencia con el Lerma se encuentra cerca de este sitio. Además, se observa que los contaminantes que entran en este sitio, no se movilizan mucho a lo largo de la corriente, ya

que en el sitio aledaño corriente abajo la concentración vuelve a ser no detectable en agua, no así en sedimentos, donde se observa también una concentración elevada del contaminante.

Finalmente, en el último sitio (sitio 6), las concentraciones en sedimentos son más bajas que en los demás sitios donde se detectó p,p'-DDE, debido probablemente a que existen mejores condiciones de degradación de la materia orgánica (valores de pH ligeramente alcalinos y mayor contenido de materia orgánica).

VI.6. CONCLUSIONES

El contenido de compuestos organoclorados que se encontraron en las muestras tanto de agua como de sedimento fueron altas, rebasando, en el caso del p,p'-DDE en sedimentos, el nivel de efecto severo para fauna bentónica. El p,p'-DDE fue el principal contaminante que se presentó tanto en agua como en sedimento observándose que la parte intermedia el meandro es un punto de acumulación de este compuesto, dado que las condiciones fisicoquímicas de la zona favorecen es presencia y retardan aun más el proceso de degradación. Los otros compuestos que se detectaron fueron el dieldrín y el endrín cetona, ambos únicamente en el agua pero en sitios diferentes. Debido a que en las muestras se encontraron solamente productos de degradación de otros compuestos y no así los contaminantes originales, se puede asumir que la contaminación no es reciente, sin embargo se recomienda realizar un monitoreo de las sustancias químicas que se utilizan en las actividades agrícolas para evitar un aumento en los niveles de contaminación. Además se recomienda el uso de tecnologías agrícolas que sean más amigables con el ambiente, como el control biológico de plagas para disminuir la contaminación por agroquímicos en el río. También se recomienda regular el uso del agua del río para riego de cultivos, ya que esta práctica puede favorecer la llegada de dichos contaminantes a la población, por el consumo de alimentos contaminados.



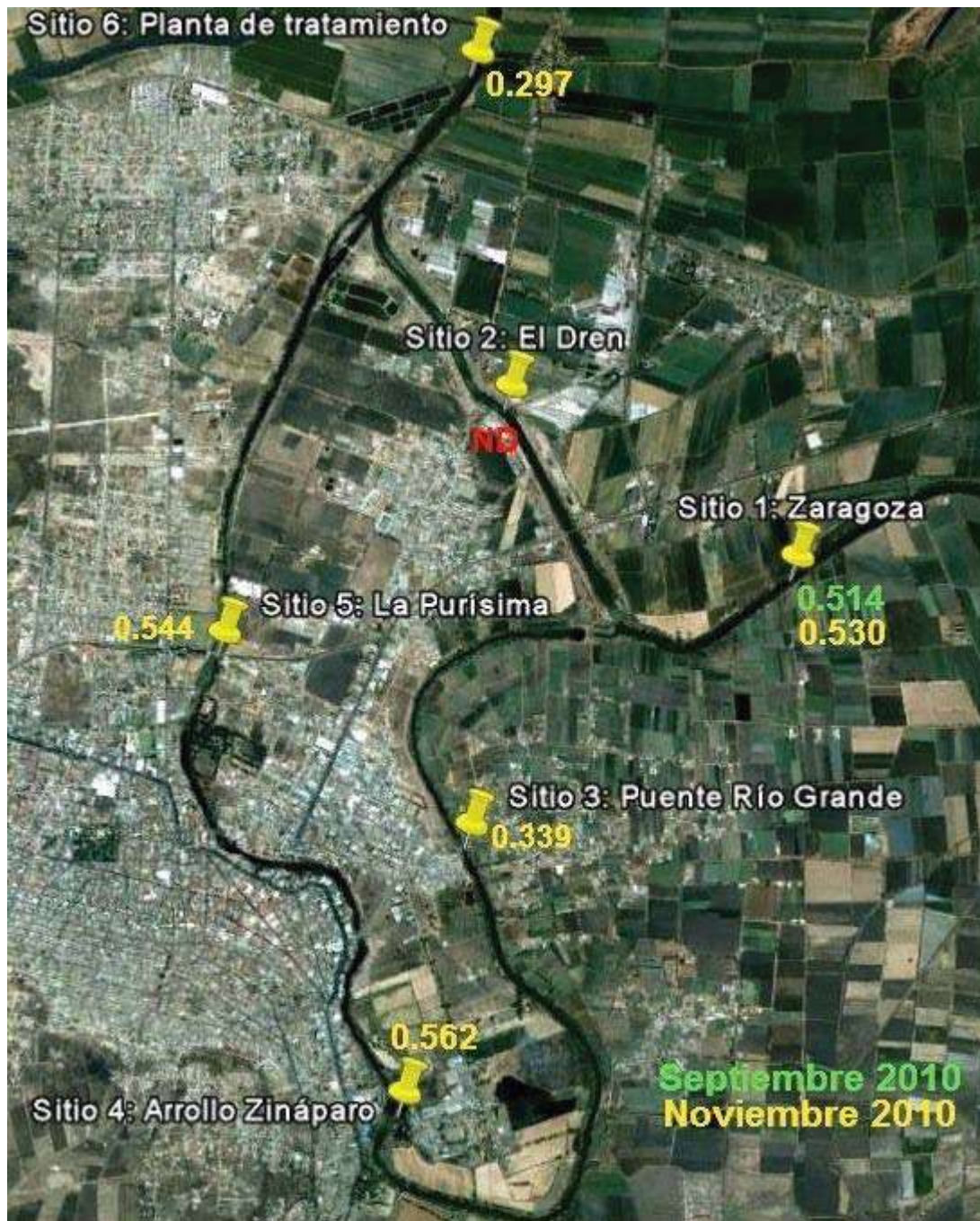


Figura 17. Distribución espacial del p,p'-DDE en las muestras de sedimentos. El valor que aparece en anaranjado corresponde al muestreo de septiembre. Los valores que aparecen en amarillo corresponden al muestreo de noviembre. ND: No se detectó el compuesto en este sitio. (Fuente: ©2010 Google Earth).

VI.7. LITERATURA CITADA

- Alcántara, A. E. (2009). “Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y Plaguicidas Organoclorados en el Curso Alto del Río Lerma”. Tesis de maestría. Facultad de Química. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Arias, V. J. A., Rojas, D., Dierkmeier, G., Rivera, C., Cabrera, N. (1990). “Plaguicidas Organoclorados”. Serie Vigilancia 9. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.
- Calderón, H.E., González, E. y Durán de Bazúa, C. (2001). “Plaguicidas Organoclorados en Sedimentos y Organismos Acuáticos del Lago de Catemaco, Veracruz, México” *Rev. Int. Contam. Ambient.* 17(1), 23-30.
- Calva, L.G., Torres, M.R. (1998). “Plaguicidas Organoclorados”. *Contactos.* 30, 35-46.
- CCME. (2002). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables. Updated. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- CICOPLAFEST. (2004). Catálogo de Plaguicidas. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. México.
- DOF. (1981). Diario Oficial de la Federación. NMX-AA-071-1981 “Análisis de Agua-Determinación de Plaguicidas Organoclorados.- Método de Cromatografía de Gases”. México.
- DOF. (2000). Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2000. “Análisis de agua - Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas”. México.
- DOF. (2002). Diario Oficial de la Federación. NOM-021-RECNAT-2000. “Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis”. México.
- EPA. (1980). Ambient Water Quality Criteria for Aldrin/Dieldrin. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water Regulations and Standards Criteria and Standards Division. Washington, DC.



- EPA. (1980a). Ambient Water Quality Criteria for DDT. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water Regulations and Standards Criteria and Standards Division. Washington, DC.
- EPA. (1980b). Ambient Water Quality Criteria for Endrin. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water Regulations and Standards Criteria and Standards Division. Washington, DC.
- EPA. (2004). Environmental Protection Agency. “Method 9045d Soil and Waste pH”. www.epa.gov
- EPA. (2007). Environmental Protection Agency. “Method 8081b Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography”. www.epa.gov
- Fytianos, K., Meesters, R.J.W., Schroder, H.F., Gouliarmo, B. and NIKOLAOS Gantidis, N. (2006). “Distribution of organochlorine pesticides in surface water and sediments in Lake Volvi (northern Greece)”. Intern. J. Environ. Anal. Chem. Vol. 86, Nos. 1–2, 15 January–15 February 2006, 109–118.
- Gaudette H.E., Flight W.R., Torner L., Folger D.W. (1974). “An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments”. J. Sediments Petrol. 44, 249-253.
- Ingersoll, G.C.; McDonald, D.D.; Wang, N.; Crane, J.L.; Field, L.J.; Haverland, P.S; Kemble, N.E.; Lindskoog, P.A.; Severn, C.; Smorong, D.E. (2000). “Prediction of Sediment Toxicity Using Consensus Based Freshwater Sediment Quality Guidelines” United States Geological Survey. USEPA.
- Leyva-Cardoso, D.O., Ponce-Vélez, G., Botello, A.V. y Díaz-González, G. (2003). “Persisten Organochlorine Pesticides in Coastal Sediments from Petacalco Bay, Guerrero, México” Bull. Environ. Contam. Toxicol. 71, 1244-1251.
- NOAA. (1999). “Sediment Quality Guidelines Developed for the National Status and Trends Program”. National Oceanic and Atmospheric Administration. US Department of Commerce.
- Ntow, W. J. (2001) “Organochlorine Pesticides in Water, Sediments, Crops and human fluids in a Farming Community in Ghana” Ach. Environ. Contam. Toxicol. 40, 557-553.
- Manahan, S.E. (2000). “Environmental Chemistry”. Septima edición. Stanley Publishers. Estados Unidos.



Rueda, L., Botello A.V. y Díaz, G. (1998). "Presencia de Plaguicidas Organoclorados en dos Sistemas Lagunares del Estado de Chiapas, México" *Rev. Int. Contam. Ambient.* 13(2), 55-61.

Stumm, W. y Morgan, J. J. *Aquatic Chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Water.* 3rd edition. ED. John Wiley & Sons, Inc. USA.



VII. PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un monitoreo intensivo de plaguicidas organoclorados para tener una mejor explicación del comportamiento de los compuestos encontrados, como es el caso del dieldrín y del endrín cetona, que se encontraron en solo un sitio y durante uno solo de los muestreos.
2. Se recomienda también extender los muestreos para abarcar la temporada de lluvia y estiaje, ya que el comportamiento presumiblemente debe ser diferente durante ambas temporadas, y probablemente las concentraciones de plaguicidas organoclorados en sedimentos se verán incrementadas, debido a la concentración de contaminantes por la reducción del volumen de agua en el cauce.
3. Es importante extender el monitoreo a los arroyos que confluyen en el río Lerma, ya que éstos pueden ser fuente importante de contaminantes orgánicos producto tanto de actividades agrícolas como pecuarias.
4. Una vez determinado si dichas fuentes son significativas, se recomienda realizar un programa de tratamiento para reducir la entrada de contaminantes al río.
5. Otro punto importante es el cambio de las tecnologías agrícolas que se utilizan en la zona por otras que sean más amigables con el ambiente, como el uso del control biológico de plagas para disminuir la entrada de contaminantes al sistema.
6. Se recomienda también regular el uso del agua del río para el riego de cultivos en la zona para evitar así el transporte de contaminantes hasta el ser humano por el consumo de alimentos contaminados.



VIII. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Aparicio, J., Lobato, R. (2006). Clima. ATLAS DE LA CUENCA DEL LERMA-CHAPALA. Construyendo una visión conjunta. Editores: Cotler, H., Mazari, M., De Anda, J. SEMARNAT, INE, UNAM, INECOL. México.
- Ávila Pérez, P. (1995). “Evaluación de los Metales Pesados CR, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb y Hg en agua, sedimento y Lirio Acuático *Echhornia crassipes*, de la Presa José Antonio Alzate, estado de México””. Tesis de Maestría, Facultad de Química. Universidad Autónoma del Estado de México
- Ávila Pérez, P. (2001). “Dinámica de Metales Pesados no Esenciales en la Interacción agua/sedimento/biota de la Presa José Antonio Alzate”. Tesis Doctoral, CIRA, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.
- Barceló, I.D., Solís H.D., González C., Ávila, P., García J.A. (1997a). “Interacción de Cd y Pb con oxihidróxidos de Fe y Mn en sedimentos superficiales de la Presa José Antonio Alzate en el Estado de México”. Memorias Técnicas del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. 4-7de noviembre. Zacatecas, Zac. Tomo II, pp. 30-50.
- Barceló, I.D., Solís H.D., González C., Ávila, P., García J.A. (1997b). “Variación de parámetros fisicoquímicos en la Presa José Antonio Alzate”. Memorias Técnicas del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. 4-7de noviembre. Zacatecas, Zac. Tomo II, pp. 11-20.
- Barceló Q. I. D., Ávila P. P., Solís C. H. E., González C.C., Bussy B.A.L. (1998a). “Repartición Geoquímica de metales pesados en sedimentos superficiales de la Presa J.A. Alzate en el Estado de México”. Memorias en CD:Rom del XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Lima, Perú. 1-5 de noviembre de 1998.
- Barceló Q. I. D., González C.C., Solís C. H. E., Ávila P. P., García, A.J.A., Bussy B.A.L. (1998b). “Variación temporal y espacial de algunos aniones que influyen en la calidad



- del agua del embalse J.A. Alzate, México”. Memorias en CD:Rom del XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Lima, Perú. 1-5 de noviembre de 1998.
- Barceló Quintal, I.D. (2000). Estudio de la movilidad de Ca, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn en sedimentos de la presa José Antonio Alzate en el Estado de México. Tesis doctoral en Ingeniería-Ciencias del Agua; Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de Universidad Autónoma del Estado de México.
- Botello, A.V., Rueda-Quintana, L., Díaz-González, G. and Toledo, A. (2000). “Persistent Organochlorine Pesticides (POP’S) in Coastal Lagoons of the Subtropical Mexican Pacific”. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 64, 390-397.
- Brito-Cruz M. A. (2000). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UAEM.
- Cardona, N. (2006a). Desarrollo socioeconómico. ATLAS DE LA CUENCA DEL LERMA-CHAPALA. Construyendo una visión conjunta. Editores: Cotler, H., Mazari, M., De Anda, J. SEMARNAT, INE, UNAM, INECOL. México.
- Cardona, N. (2006b). Dinámica económica. ATLAS DE LA CUENCA DEL LERMA-CHAPALA. Construyendo una visión conjunta. Editores: Cotler, H., Mazari, M., De Anda, J. SEMARNAT, INE, UNAM, INECOL. México.
- Carreño, L. M. C. (2008). “Persistencia y distribución de los compuestos orgánicos persistentes en agua y sedimentos del curso alto del río Lerma”. Tesis doctoral. Centro Interamericano de Recursos del Agua. UAEM.
- Cotler, H., Mazari, M., De Anda, J. (2006). ATLAS DE LA CUENCA DEL LERMA-CHAPALA. Construyendo una visión conjunta. SEMARNAT, INE, UNAM, INECOL. México.
- EPA. (1996). Environmental Protection Agency. “Method 3510c Separatory Funnel Liquid-Liquid Extraction”. www.epa.gov



- Fall, C. (1999). Fuentes de aportación y distribución de los Compuestos Orgánicos Tóxicos en el agua y sedimentos del Curso Alto del río Lerma”. Proyecto CONACYT No. 37909T.
- González A. Z. I., Ávila-Pérez P., Tejeda-Vega S., Zarazúa-Ortega G. y Longoria-Gándara L. C. 2006. “Estudio del Curso Alto del Río Lerma desde una Perspectiva Sustentable”. Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas Tema 5. Monitoreo e indicadores para cuencas y microcuencas. http://www.ine.gob.mx/dgioece/cuencas/cong_nal_cuencas_2006_t5.html (Accesada en noviembre 2008).
- Gobierno del Estado de Michoacán. (2002). “Hidrografía de Michoacán”. Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal. Dirección de Estadística. México.
- INE. Instituto Nacional de Ecología (2004). “Metales y Contaminantes Orgánicos Persistentes en Niños y Muestras Ambientales de 10 Sitios Contaminados de México”. Unidad Pediátrica Ambiental. Facultad de Medicina – UASLP. México.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. (1983). “Diagnóstico Ambiental de la Zona Industrial del Alto Lerma por medio de la Técnica de Evaluación rápida de Fuentes de Contaminación del Agua, Aire y Suelo”. Reporte de la Organización Mundial de Salud del estado de México.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. (1992). Consecuencias Sanitarias del Empleo de Plaguicidas en la Agricultura. 128 pp.
- Rovedatti, M. G., Castane, P. M., Topalián M. L. y Salibián, A. (2001) “Monitoring of Organochlorine and Organophosphorous Pesticides in the Water of the Reconquista River (Buenos Aires, Argentina)” *Water Research* 35(14), 3457-3461.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1978). “Reporte de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y del Instituto de Ingeniería de la UNAM”. Programa de Monitoreo del Río Lerma. México, D.F.



- SEMARNAP-INE. (1999). “Lo que Usted debe saber sobre los Plaguicidas”. Serie Plaguicidas No. 1. México.
- Tejeda, S., Zarazúa-Ortega, G., Ávila-Pérez, P., García-Mejía, A., Carapia-Morales, L., Díaz-Delgado, C. (2006). “Major and trace elements in sediments of the upper course of Lerma River”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 270, No.1, 9–14.
- Vallejo, D; Baqueiro, E. R.; Garcia A. (2006). “Plaguicidas Organoclorados en Sedimento de la Laguna de San Andrés, Tamaulipas”. III Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia. 18 y 19 de mayo de 2006. León, Gto. México.
- Vilanova, R., Pilar Fernández, P., Martínez, C., and Grimalt, J.O. (2001). “Organochlorine Pollutants in Remote Mountain Lake Waters.” *J. ENVIRON. QUAL.*, VOL. 30, JULY–AUGUST 2001.
- Villalobos, C. B. (2011). “Metales pesados y Arsénico en la Columna de Agua y Sedimento en el Meandro del Río Lerma, La Piedad, Michoacán”. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. UMSNH.
- Zarazúa G. (2000). “Bioacumulación y Toxicidad de los Metales Pesados Cr, Cu, Zn, Cd y Hg en *Daphnia pulex* de la Presa José Antonio Alzate”. Tesis de Maestría en Ciencias del Agua, CIRA, Facultad de Ingeniería, UAEM.



ANEXO 1

PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE OPERACIÓN PARA POC'S EN AGUA Y SEDIMENTOS

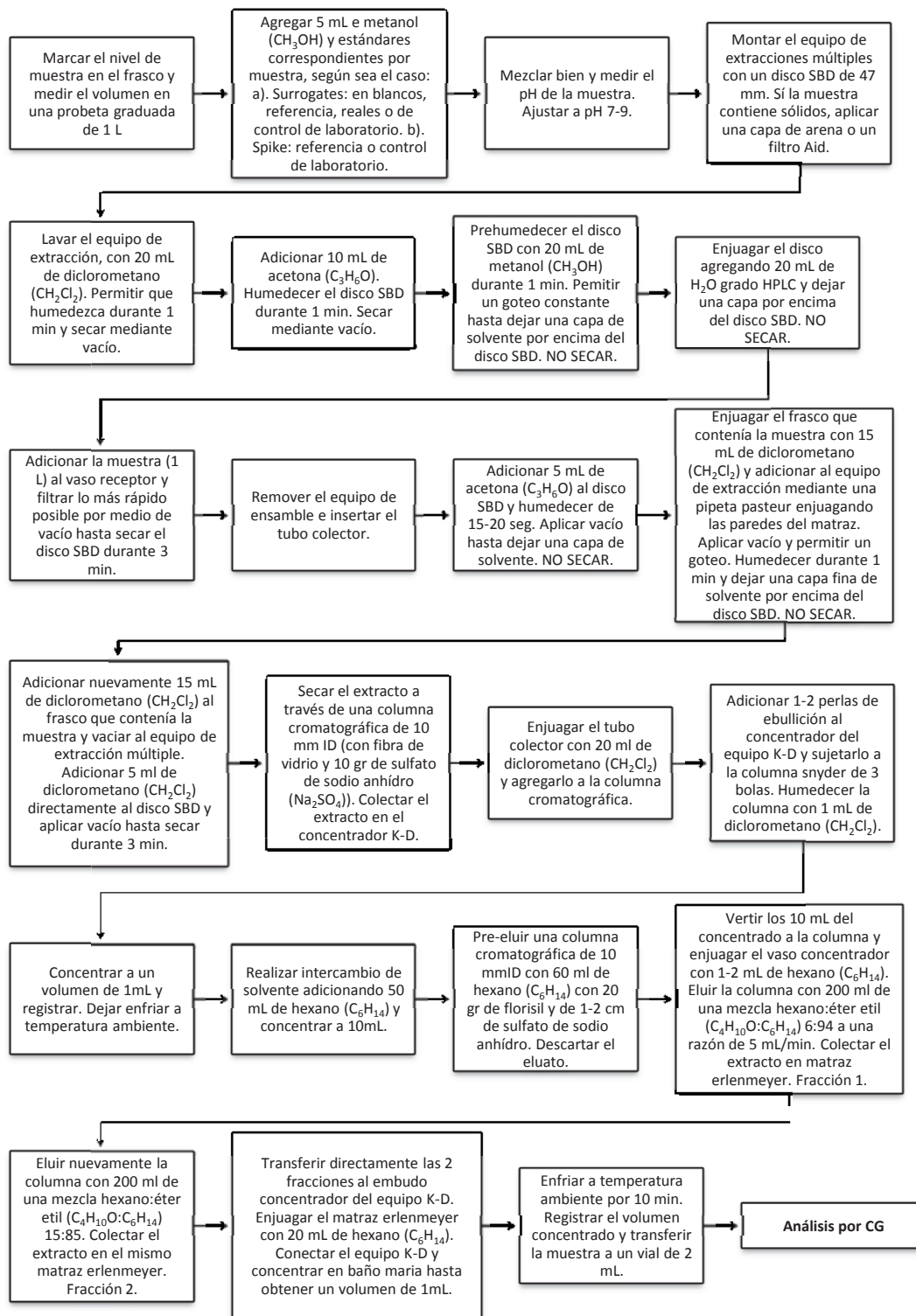


Figura 17. Procedimiento Estándar de Operación para POC en agua (Alcántara, 2009).



DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS EN AGUA Y SEDIMENTOS, EN EL RÍO LERMA, MUNICIPIO DE LA PIEDAD, MICHOACÁN, MÉXICO

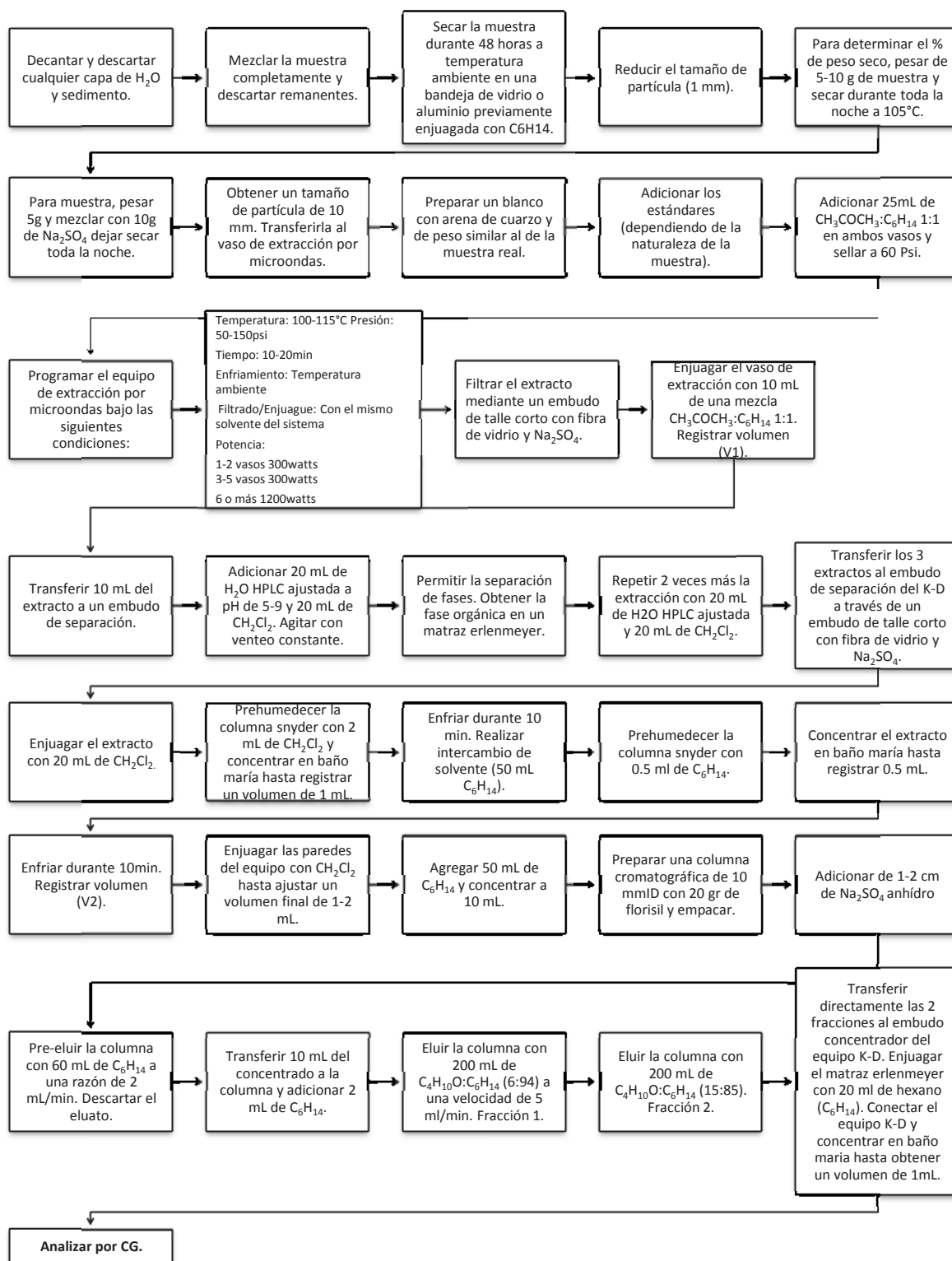


Figura 18. Procedimiento Estándar de Operación para POC en sedimentos (Alcántara, 2009).

