



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
AMBIENTAL – SUSTANCIAS Y RESIDUOS PELIGROSOS

ANÁLISIS DEL RIESGO POR PRESENCIA DE PLAGUICIDAS  
ORGANOCORADOS EN CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
RICARDO IVÁN SALAS RAMÍREZ

TUTOR PRINCIPAL  
DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ, FACULTAD DE INGENIERÍA  
COMITÉ TUTOR  
M. C. MARÍA INÉS J. NAVARRO GONZÁLEZ, INSTITUTO DE INGENIERÍA  
DR. LUIS ANTONIO GARCÍA VILLANUEVA, FACULTAD DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.; Octubre, 2019



**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ \_\_\_\_\_

Secretario: M. A. I. LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS \_\_\_\_\_

Vocal: Dr. LUIS ANTONIO GARCÍA VILLANUEVA \_\_\_\_\_

1 er. Suplente: M. C. INÉS NAVARRO GONZÁLEZ \_\_\_\_\_

2 do. Suplente: Dra. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ \_\_\_\_\_

FACULTAD DE INGENIERÍA, LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
AMBIENTAL, CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES Y  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

**TUTOR DE TESIS:**

GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ

\_\_\_\_\_  
**FIRMA**



## AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue elaborado gracias al apoyo de la beca del Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología, además de su apoyo para la realización de la estancia académica en la Universidad Politécnica de Valencia.

También agradezco al Centro Nacional de Prevención de Desastres por su apoyo para la determinación de los plaguicidas organoclorados dentro de sus instalaciones.

Además, parte de la elaboración de este proyecto fue gracias a las ideas aportadas por el Dr. Javier Rodrigo Ilarri, quien es parte del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente del Grupo de Hidrogeología de la Universidad Politécnica de Valencia.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi tutora de tesis la Dra. Georgina Fernández Villagómez por su instrucción y colaboración durante el desarrollo de esta investigación.

A los miembros del jurado para el examen de grado, Dr. Luis Antonio García Villanueva, M. Inés Navarro González, M. Landy I. Ramírez Burgos y Dr. Enrique César Valdez; quienes se tomaron su tiempo y dedicación para realizar los comentarios, correcciones y sugerencias para mejorar este documento.



## CONTENIDO

I.	<b>Lista de figuras</b> .....	<b>iii</b>
II.	<b>Lista de tablas</b> .....	<b>iv</b>
III.	<b>Acrónimos</b> .....	<b>v</b>
IV.	<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
	<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
	1.1. Justificación .....	2
	1.2. Objetivos .....	5
	1.3. Alcances y limitaciones .....	6
	<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
	<b>2.1. Plaguicidas organoclorados</b> .....	<b>7</b>
	2.1.1. Aldrín y dieldrín.....	8
	2.1.2. Endosulfán.....	11
	2.1.3. Determinación de plaguicidas organoclorados en agua mediante cromatografía de gases .....	13
	<b>2.2. Sitio de estudio: Canales de Ampampilco y Apatlaco (Xochimilco)</b> .....	<b>13</b>
	2.2.1. Geología y edafología .....	16
	2.2.2. Agricultura .....	18
	2.2.3. Hidrología .....	21
	<b>2.3. Estimación de la concentración en agua superficial utilizando el modelo: <i>Pesticide in Water Calculator (PWC)</i></b> .....	<b>25</b>
	<b>2.4. Análisis del riesgo utilizando el modelo de <i>Análisis Espacial y Asistencia en la toma de Decisiones (SADA)</i></b> .....	<b>26</b>
	2.4.1. Riesgo por presencia plaguicidas organoclorados (aldrín, dieldrín y endosulfán) .....	30
	2.4.2. Modelo de Análisis Espacial y Asistencia en la toma de Decisiones (SADA) .....	32
	<b>2.5. Marco legislativo</b> .....	<b>36</b>
	2.5.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	37
	2.5.2. Ley de Aguas Nacionales.....	38
	2.5.3. Parámetros de calidad del agua y para plaguicidas en agua nacionales e internacionales .....	40



<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1. Metodología .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Muestreo .....</b>	<b>44</b>
3.2.1. Parámetros obtenidos en campo y laboratorio .....	48
<b>3.3 Análisis de plaguicidas en muestras de agua y suelo .....</b>	<b>49</b>
3.3.1. Muestras de agua.....	49
3.3.2. Muestras de suelo .....	49
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 Evaluación de los parámetros obtenidos en campo y laboratorio .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 Evaluación de la concentración mediante el Pesticide in Water Calculator (PWC) .....</b>	<b>52</b>
4.2.2. Plaguicidas .....	53
4.2.3. Aplicación de plaguicida.....	55
4.2.4. Cultivo/Tipo de suelo .....	56
4.2.5. Escorrentía .....	59
4.2.6. Características del cuerpo de agua.....	61
4.2.7. Resultados y su evaluación.....	62
<b>4.3 Análisis del riesgo por Análisis Espacial y Asistencia en la toma de Decisiones (SADA).....</b>	<b>65</b>
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>81</b>
<b>METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO<sub>5</sub> Y DQO .....</b>	<b>81</b>
<b>METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS EN AGUA Y SUELO .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>92</b>



## I. LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Molécula aldrín .....	9
Figura 2.2. Molécula dieldrín .....	10
Figura 2.3. Molécula de endosulfán .....	12
Figura 2.4 Ubicación de la alcaldía Xochimilco .....	14
Figura 2.5 Zona lacustre de Xochimilco .....	15
Figura 2.6 Tipos de suelo .....	17
Figura 2.7 Composición de chinampas .....	19
Figura 2.8. Cultivo en zona chinampera .....	20
Figura 2.9 Ubicación actual del lago de Xochimilco .....	21
Figura 2.10. Componentes del riesgo .....	28
Figura 2.11 Marco jurídico en materia ambiental .....	38
Figura 3.1. Metodología .....	44
Figura 3.2. Zona de muestreo .....	45
Figura 3.3. Toma de muestras de agua .....	47
Figura 3.4. Muestreo en suelos .....	47
Figura 3.5. Muestras de agua en hielera .....	48
Figura 3.6. Muestras de suelo en hielera .....	48
Figura 3.7. Medidor de oxígeno.....	48
Figura 3.8. Medidos de TDS.....	48
Figura 3.9. Potenciómetro .....	48
Figura 4.1 Datos de escorrentía .....	60
Figura 4.2. Concentración de endosulfán mediante el PWC.....	62
Figura 4.3. Concentración de aldrín mediante el PWC. ....	63
Figura 4.4. Concentración de dieldrín mediante el PWC.....	63
Figura 6.1. Determinación de DBO <sub>5</sub> de acuerdo con APHA, AWW, WEF (1999). 81	
Figura 6.2. Agua de dilución.....	81
Figura 6.3. Winkler con .....	81
Figura 6.4. Winkler con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado .....	81
Figura 6.5. Muestras por duplicado .....	82
Figura 6.6. Matraz con almidón.....	82
Figura 6.7. Titulación con tiosulfato.....	82
Figura 6.8. Determinación de DQO de acuerdo con HACH, (2000) .....	82
Figura 6.9. Preparación de tubos de digestión .....	83
Figura 6.10. Digestión en reactor HACH .....	83
Figura 6.11. Lecturas en espectrofotómetro HACH.....	83
Figura 6.12. Determinación por cromatografía de gases para muestras de agua. 84	
Figura 6.13. a) Extracción con diclorometano; b) Evaporación a 40 °C; c) Cromatógrafo de gases; d) Diclorometano de extracto .....	84
Figura 6.14 Determinación por cromatografía de gases para muestras de suelo. 85	



Figura 6.15. a) Evaporación a 70 °C, b) Limpieza con Florisil®; c) Secado de muestra; d) Concentración de hexano; e) Cromatógrafo con detector de captura de electrones; f) viales cromatográficos; g) Digestión en microondas; h) Tubo para digestión. .... 85

Figura 7.1. Propiedades de plaguicidas ..... 86

Figura 7.2. Aplicación del plaguicida. .... 87

Figura 7.3. Archivo meteorológico. .... 88

Figura 7.4. Cultivo y suelo. .... 89

Figura 7.5. Escorrentía ..... 90

Figura 7.6. Información del cuerpo de agua. .... 91

## II. LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades del aldrín..... 9

Tabla 2.2. Propiedades del dieldrín ..... 10

Tabla 2.3 Propiedades endosulfán ..... 12

Tabla 2.4. Cambios en la Zona lacustre de Xochimilco..... 23

Tabla 2.5. Estudios de plaguicidas dentro de los canales de Xochimilco..... 24

Tabla 2.6. Riesgos por presencia de plaguicidas organoclorados ..... 28

Tabla 2.7. Plaguicidas detectados en los canales de Xochimilco..... 29

Tabla 2.8. Categorías del estado para agua superficial para DBO y DQO ..... 40

Tabla 2.9. Límites máximos permisibles de guías internacionales ..... 41

Tabla 2.10. Parámetros permisibles de guías internacionales ..... 41

Tabla 3.1 Muestreo en agua..... 46

Tabla 3.2 Muestreo en suelo ..... 46

Tabla 4.1 Plaguicidas organoclorados en muestras de agua ..... 50

Tabla 4.2 Plaguicidas organoclorados en muestras de suelos..... 50

Tabla 4.3 Parámetros obtenidos en campo y laboratorio ..... 51

Tabla 4.4. Propiedades de endosulfán ..... 54

Tabla 4.5. Propiedades aldrín y dieldrín ..... 54

Tabla 4.6. Características del perfil de suelo..... 58

Tabla 4.7. Escorrentías importantes..... 60

Tabla 4.8. Información de cuerpo de agua ..... 61

Tabla 4.9 Comparación plaguicidas detectados y PWC..... 65

Tabla 4.10. Parámetros de exposición ..... 66

Tabla 4.11. Parámetros físicos de contaminación ..... 67

Tabla 4.12. Toxicidad no carcinógena de contaminantes en agua..... 67

Tabla 4.13 Toxicidad carcinógena de contaminantes en agua ..... 68

Tabla 4.14. Parámetros por contacto dérmico en agua de tipo recreacional ..... 69



Tabla 4.15. Parámetros por ingestión de peces en agua de tipo recreacional .....	69
Tabla 4.16 Determinación de peligro o riesgo por SADA .....	70
Tabla 4.17 Determinación cuantitativa del riesgo para no carcinógeno y carcinógeno.....	70

### III. ACRÓNIMOS

1. **SEMARNAT.** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
2. **RAMSAR.** Convención para la conservación y uso racional de humedales.
3. **FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
4. **CICOPLAFEST.** Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y uso de Plaguicidas y Sustancias Tóxicas.
5. **UNESCO.** Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura.
6. **INEGI.** Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
7. **OMS.** Organización Mundial de la Salud.
8. **COFEPRIS.** Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios





#### IV. RESUMEN

El contenido de esta tesis consta de 6 capítulos, en donde en el primer capítulo se plantea el problema del por qué es necesario realizar el análisis de riesgo en la zona de estudio, además se definen los objetivos, alcances y limitaciones que se consideran para la ejecución del trabajo, de acuerdo a los datos e información encontrada en textos especializados.

El segundo capítulo aborda el estado del arte que trata acerca de los plaguicidas organoclorados a investigar los cuales son aldrín, dieldrín y endosulfán, así como la zona de estudio que fueron los canales de Ampampilco y Apatlaco que pertenecen al antiguo lago de Xochimilco, además se menciona el uso y alcances de los softwares para la realización del cálculo de la concentración en agua y el análisis del riesgo, también se menciona la parte normativa nacional e internacional que se consideró.

En el tercer capítulo se describe la metodología empleada en el trabajo, la cual contempla el plan de muestreo que se realizó en el cuerpo de agua y suelo para la verificación del uso y aplicación de los plaguicidas, así como las determinaciones que se les realizaron bajo el método de la Protección de Medio Ambiente de los E.U. (USEPA por sus siglas en inglés) 8081B, además se reportan las concentraciones obtenidas para cada una de ellas.

Los resultados están reportados en el cuarto capítulo los cuales se obtuvieron a partir de la modelación realizada en cada uno de los programas, dicho análisis se elaboró mediante los programas *Spatial Analysis and Decision Assistance* (SADA por sus siglas en inglés) y *Pesticide in Water Calculator* (PWC por sus siglas en inglés).

Finalmente, en el quinto capítulo se enlistan las conclusiones que se obtuvieron después de haber realizado la investigación del análisis del riesgo por la presencia de los plaguicidas detectados dentro de los canales de Xochimilco, así como algunas recomendaciones para continuar con el trabajo de investigación.



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Justificación

El empleo de sustancias químicas para propósitos de agricultura e industria es una de las mayores causas de contaminación del agua, afectando al sistema acuático (Jhamtani, et al., 2018), muchas veces la consecuencia de esto es alterar la cadena alimenticia, causando efectos a largo plazo en la salud y en el ambiente.

El empleo de plaguicidas es la actividad más frecuente para eliminar o controlar las plagas u organismos, así como las especies no deseadas que causan perjuicio en la producción agrícola y forestal. En la agricultura se utilizan herbicidas, insecticidas, fungicidas, nematocidas y rodenticidas (FAO, 1997; Ortiz, et al., 2014; Hernández y Hansen, 2011), estos amenazan a especies vitales para la producción de alimentos como los polinizadores, y a la salud de las personas debido a la alta toxicidad. Algunas de estas sustancias pueden ser altamente persistentes en el ambiente, es decir que permanecen y se transportan aún después de su aplicación o después de haber sido prohibidos, como lo son los plaguicidas organoclorados, tales como endosulfán, DDT, aldrín, heptacloro, lindano, entre otros (Arellano y Rendón, 2016).

Ferrer en 2003, menciona que los problemas que se han presentado son debido a la presencia de residuos de estos plaguicidas en alimentos y tejidos humanos y animales, así como su potencialidad carcinogénica y mutagénica, además algunos de ellos se han considerado disruptores endocrinos; estos se absorben por la piel y las vías respiratoria y digestiva.

Algunos síntomas debido a una intoxicación aguda mencionados por Briz en 2011, son excitabilidad, vértigo, cefalea, náusea, vómito, diarrea, ataxia, hiperestesias y parestesias en la cara, temblor, confusión mental, contracciones mioclónicas.



Mientras que los efectos crónicos pueden ser aparición de tumores en el hígado en animales de experimentación, efectos inmunodepresores, visión borrosa, movimientos musculares y oculares involuntarios, cefalea y somnolencia; además tienen efectos perjudiciales sobre la reproducción animal, como la disminución de la fertilidad, atrofia de los órganos sexuales y alteraciones en el comportamiento sexual y en la función tiroidea, daños en el sistema nervioso, exhibiendo efectos neuronales, así como alteraciones degenerativas en hígado y riñones, así como en el edema cerebral; siendo estos mutagénicos y teratogénicos (Briz, 2011; Benítez, 2012; Zaragoza, et al, 2016).

La Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) ha suspendido drásticamente la disponibilidad de un buen número de insecticidas organoclorados, tales como DDT, aldrín, lindano, endrín, clordano, entre otros. Sin embargo, algunos de ellos aún se usan en muchas otras regiones del mundo (Roberts y Reigart, 2013).

En el caso del aldrín, está clasificado como un insecticida de tipo organoclorado debido a su estructura molecular y su principal metabolito es el dieldrín (Hooker, et al., 2014; Jhamtani, et al., 2018).

El endosulfán se utiliza como insecticida para cultivos alimentarios como cereales, té, frutas y verduras, así como para el algodón y el tabaco. También se utiliza como conservante de la madera. De acuerdo con su estructura química está clasificado como un plaguicida organoclorado (Wexler, 2005).

De acuerdo con la Comisión Intersectorial para el Control del Proceso y uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST) en 2004; el aldrín quedó prohibido para su importación, fabricación, formulación, comercialización y uso en México, debido a que es uno de los plaguicidas más peligrosos y su uso a nivel mundial quedó prohibido y restringido en 2001, de



acuerdo con lo establecido en el Convenio de Estocolmo para contaminantes orgánicos persistentes.

Mientras que el endosulfán se enlistó en 2011 al Convenio de Estocolmo y quedó establecido como un nuevo contaminante orgánico persistente, su uso en México aún está permitido, se encontraron registros en revisión por parte de la COFEPRIS en el 2016, a pesar de que en 2013 se acordó que no habría importaciones, sin embargo, en 2015 aún se comercializó este plaguicida dentro del país (RAPAM, 2017).

Las cantidades máximas permisibles para la protección de la vida acuática de acuerdo con el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME por sus siglas en inglés) 2008, son de 4 ng/L para aldrín y dieldrín en combinación o solamente uno, mientras que para el endosulfán la concentración permitida es de 0.02 µg/L, aunque el uso del aldrín está prohibido es importante realizar un estudio para la identificación de posibles residuos o verificar si estos aún siguen siendo utilizados, así como evaluar la presencia de endosulfán, ya que aún se tienen registros de su uso en México como lo reportan Arellano y Rendón en 2016.

En este trabajo se pretende realizar un análisis del riesgo por presencia de plaguicidas organoclorados, ya que como se menciona anteriormente son altamente tóxicos y se han utilizado en la zona chinampera de los canales de Xochimilco, ya que tanto Hernández en 2005 y Borja en 2017 mencionan que en los canales de Ampampilco y Apatlaco se tiene un mayor empleo de agroquímicos, es por ello que en esta zona se propone realizar el muestreo para la detección de plaguicidas organoclorados, tales como aldrín, dieldrín y endosulfán.



## 1.2. Objetivos

### Objetivo general

- Realizar el análisis del riesgo por presencia de plaguicidas organoclorados en cuerpos de agua superficiales utilizando paquetes computacionales.

### Objetivos específicos

- ★ Determinar la calidad del cuerpo de agua a partir de los parámetros medidos en campo y laboratorio como pH, temperatura, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub> y DQO.
- ★ Identificar la presencia de plaguicidas organoclorados en las muestras de agua y suelo mediante cromatografía de gases.
- ★ Estimar la concentración teórica de los plaguicidas organoclorados en el cuerpo de agua estudiado, utilizando el programa *Pesticide in Water Calculator*, partiendo de los criterios establecidos en dicho programa y comparándolos con los límites máximos permisibles de las regulaciones internacionales.



### 1.3. Alcances y limitaciones

- El análisis del riesgo se realizó de acuerdo con las concentraciones determinadas en el laboratorio, obtenidas de las muestras, con el programa “Análisis Espacial y Asistencia en la toma de Decisiones” (SADA por sus siglas en inglés).
- El muestreo de agua y suelo se llevó a cabo en los sitios donde se utilizan agroquímicos, específicamente en las zonas de cultivo de maíz de los canales de Apatlaco y Ampampilco de Xochimilco.
- La toma de muestras de agua y suelo se realizó de forma superficial (20 cm).
- La determinación de plaguicidas organoclorados solamente fue para aldrín, dieldrín y endosulfán.



## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Los plaguicidas son sustancias químicas o biológicas utilizadas para eliminar o controlar plagas. Estos se pueden dividir en tres clases principales: insecticidas, fungicidas y herbicidas. También existen rodenticidas (para controlar plagas de vertebrados), nematicidas (para eliminar gusanos, etc.), molusquicidas (para eliminar babosas y caracoles) y acaricidas (para eliminar ácaros). Estas sustancias químicas son compuestos orgánicos sintéticos, pero existen algunos que derivan de plantas o de minerales inorgánicos (FAO, 1997; Milne, 1998).

Entre los plaguicidas existen de tipo inorgánico y orgánico, los orgánicos de acuerdo con su composición química se clasifican en compuestos organofosforados, carbamatos, organoclorados y piretrinas (Khan, 1980). Además, los plaguicidas organoclorados se clasifican en diclorodifeniletanos o canfenos clorados; hexaclorociclohexanos o derivados del ciclohexano; ciclodienos o derivados del indano; y benceno clorados o derivados del benceno (Ferrer, 2003; Kasozi, et al., 2006).

En el Convenio de Estocolmo que se estableció en 2001, se acordó que el uso del aldrín se restringiera en cualquier forma, ya sea industrial o agrícola debido a su persistencia, mientras que el endosulfán se agregó a este convenio en 2009, es por ello que se pretende estudiar la presencia de estos plaguicidas en algunos de los canales de Xochimilco, para identificar el peligro y analizar el riesgo al que está expuesta la población que habita y transita en el área de estudio.

### 2.1. Plaguicidas organoclorados

Entre los factores que limitan la producción agrícola y la calidad de las cosechas están las enfermedades y las plagas, las cuales pueden atacar a los cultivos desde que las plantas inician su crecimiento, hasta la cosecha y aun en el almacenamiento. Por otra parte, las enfermedades transmitidas por vectores son un problema

importante de salud pública en el país. Los plaguicidas permiten controlar la proliferación de plagas y enfermedades de los cultivos y del ganado, así como reducir o evitar las pérdidas en la producción de alimentos y contribuir al control de los vectores de diversas enfermedades (Danzos, 2007).

La Ley General de Salud del 2003, establece que *un plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destina a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten las enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal, por ejemplo, las que causan daño durante el almacenamiento o transporte de los alimentos u otros bienes materiales, así como las que interfieran con el bienestar del hombre y de los animales.*

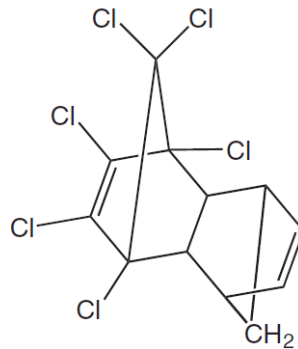
### **2.1.1. Aldrín y dieldrín**

El aldrín y dieldrín (figuras 2.1 y 2.2) son los nombres comunes de los compuestos estructuralmente similares que se usaron como insecticidas y pertenecen a la categoría de los organoclorados ciclodienos; el aldrín se convierte en dieldrín en el ambiente y en organismos, este último es la forma epoxidada del aldrín. Ambos son sustancias químicas sintetizadas y no son de origen natural (ATSDR, 2002; Buser, et al., 2009; Jhamtani, et al., 2018). La elaboración comercial del aldrín y dieldrín, comenzó en 1950 y se prolongó hasta 1970, se utilizó principalmente en cultivos de maíz, algodón, papa, entre otros (IPCS, 1989; IPCS, 1995; PISSQ, 1996). Debido a la persistencia en el ambiente y su alta solubilidad en tejidos grasos de estos compuestos, la EPA ha prohibido su producción, uso y comercialización (Jhamtani, et al., 2018; Roberts y Reigart, 2013).

El aldrín (número CAS 309-00-2) es un insecticida organoclorado y es por ello que está clasificado como un contaminante orgánico persistente, el cual se estableció en el Convenio de Estocolmo por el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes, debido a su persistencia se ha encontrado en las diversas



matrices ambientales alrededor del mundo, tales como agua superficial, alimentos, suelos y animales (Jorgenson, 2001; Buser, et al., 2009; Ponce V. y Botello, 2018).



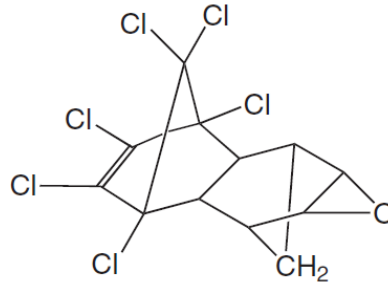
**Figura 2.1 Molécula aldrín**

Fuente: (Wexler, 2005)

**Tabla 2.1 Propiedades del aldrín**

Parámetro	Características
Peso molecular	364.92 g/mol
Punto de fusión	104 °C (puro)
Presión de vapor	$2.31 \times 10^{-5}$ mm Hg a 20 °C
Solubilidad	17-180 $\mu\text{g/L}$ a 25°C
Constante de Ley de Henry	$4.96 \times 10^{-4}$ atm m <sup>3</sup> / mol a 25 °C
Log Koc	2.61-4.69
Log Kow	5.17-7.4

Fuente: (IPCS, 1995)



**Figura 2.2. Molécula dieldrín**

Fuente: (Wexler, 2005)

**Tabla 2.2. Propiedades del dieldrín**

Parámetro	Características
<b>Peso molecular</b>	380.91 g/mol
<b>Punto de fusión</b>	175-176 °C (puro)
<b>Presión de vapor</b>	1.78x10 <sup>-7</sup> mm Hg a 20 °C
<b>Solubilidad</b>	140 µg/L a 20°C
<b>Constante de Ley de Henry</b>	5.8 × 10 <sup>-5</sup> atm m <sup>3</sup> / mol a 25 °C
<b>Log Koc</b>	4.08-4.55
<b>Log Kow</b>	3.69-6.2

Fuente: (IPCS, 1995)

La resistencia del aldrín y dieldrín a la lixiviación o a la volatilización del suelo generalmente impide su aparición en agua subterránea o en el aire, lo cual puede observarse en sus propiedades de presión de vapor y solubilidad (tablas 2.1 y 2.2), ya que son poco propensos a alejarse del área donde se aplica. El potencial de escorrentía de aldrín y dieldrín en suelos está basado por los reportes de cantidades detectables de estos compuestos en agua superficial (ATSDR, 2002; IPCS, 1995).

De acuerdo con la ATSDR en 2002, la evidencia apoya la opinión de que una proporción considerable del aldrín y el dieldrín utilizados en la agricultura llegan a la

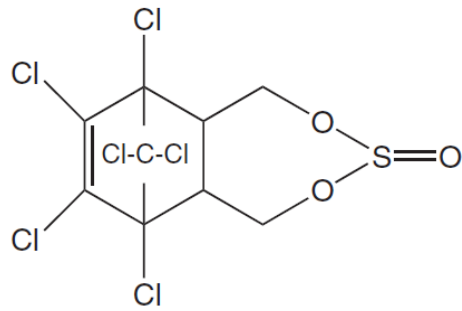
atmósfera, parece probable que la degradación atmosférica y la deposición húmeda y seca evitan la acumulación de aldrín. En estudios de laboratorio, el aldrín en fase de vapor es fotoquímicamente isomerizado y epoxidado por la luz solar a fotoaldrín, dieldrín o fotodioldrín.

Estos plaguicidas se adsorben principalmente y rápidamente en suelos con un alto contenido de materia orgánica, pero solo se adsorbe moderadamente en suelos arcillosos. Aldrín y dieldrín rara vez penetran más de 20 cm por debajo de la capa superior de suelo tratada. El aldrín se adhiere a las partículas del suelo hasta tal punto que solo las trazas pueden ser eliminadas por el agua. Por esta razón, la contaminación del agua subterránea generalmente no ocurre (IPCS, 1995).

La vida media en los suelos del aldrín de acuerdo con Khan en 1980 es de 1 a 4 años, mientras que el dieldrín puede persistir hasta 7 años, lo cual dependerá del tiempo y la dosis de aplicación en el suelo trabajado, en tanto que el tiempo que lleva para desaparecer es de 1 a 6 años y de 5 a 25 años, para el aldrín y dieldrín, respectivamente.

### **2.1.2. Endosulfán**

El endosulfán (figura 2.3) es un insecticida acaricida organoclorado, con modo de acción no sistémico de contacto estomacal. Se utiliza principalmente contra ácaros e insectos de muchos cultivos, la OMS lo clasifica como moderadamente peligroso (II) y la EPA como altamente tóxico (I); también posee efectos tóxicos crónicos y es un disruptor endocrino; tiene alta persistencia ambiental, es extremadamente persistente en el suelo y con alta bioacumulación, está compuesto de dos isómeros: alfa y beta; el principal metabolito es el sulfato de endosulfán y se degrada lentamente a los metabolitos más polares endosulfán-diol, endosulfán-lactona y endosulfán eter (Intituto Nacional de Ecología, 2004; ATSDR, 2015; Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes, 2009; RAMPA, 2017).



**Figura 2.3. Molécula de endosulfán**

Fuente: (Wexler, 2005)

Este insecticida es aplicado en los campos agrícolas para controlar una gran cantidad de plagas de insectos en una amplia gama de cultivos tales como el pepino, tomate, lechuga, pimiento, manzana, pera, cereza, ciruela, frijol, maíz, papa, fresa, entre otras frutas y vegetales, de acuerdo con sus propiedades (tabla 2.3) es muy persistente en el ambiente como se puede observar en su  $K_{ow}$ , sus isómeros tienen el potencial de volatilizarse del agua o las superficies húmedas del suelo (CCME, 2010; Wexler, 2005; INECOL, 2004).

**Tabla 2.3 Propiedades endosulfán**

Parámetro	Características
Peso molecular	406.93 g/mol
Punto de fusión	108-110 °C
Presión de vapor	$1.78 \times 10^{-7}$ mm Hg a 20 °C
Solubilidad	0.53 mg/L a 25°C
Constante de Ley de Henry	$1.01 \times 10^{-4}$ atm m <sup>3</sup> / mol a 25 °C
Log Koc	3.83
Log Kow	3.55

Fuente: (ATSDR, 2015)



En cuanto a su comportamiento en el ambiente se puede decir que el endosulfán ( $\alpha$  y  $\beta$ ) es considerado estable a la fotólisis en la atmósfera, ya que no absorbe luz en longitudes de onda mayores a 300 nm, mientras que en el agua se hidroliza a endosulfán diol, tanto en agua superficial y subterránea el cual es considerado menos tóxico que el compuesto original o el sulfato endosulfán; este último es la principal ruta en la degradación en los suelos (ATSDR, 2015).

### **2.1.3. Determinación de plaguicidas organoclorados en agua mediante cromatografía de gases**

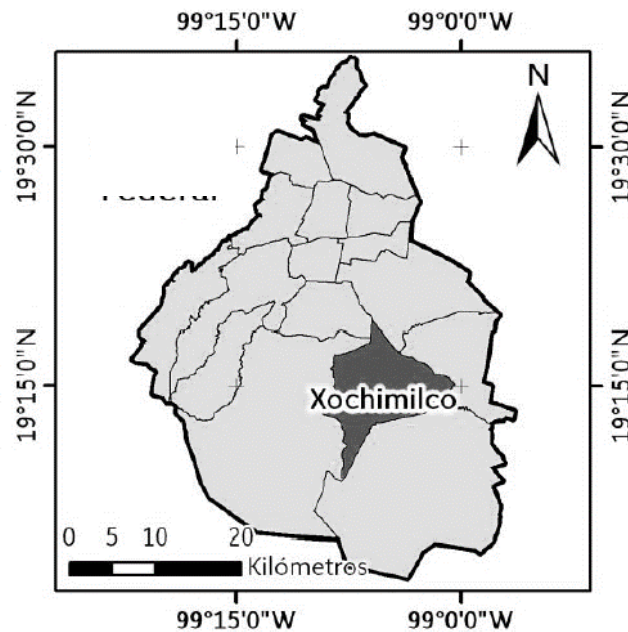
De acuerdo con la USEPA, 2007 Método 8081 B, es el método recomendado para la determinación de plaguicidas organoclorados en muestras líquidas y sólidas (agua y suelo), debido a su alta solubilidad en compuestos orgánicos es la de cromatografía de gases (GC) con detector de captura de electrones (ECD) o detector de conductividad electrolítica (ELCD). Se utiliza comúnmente para la determinación de compuestos como; aldrín, lindano, clordano, DDT, endosulfán, endrin, heptacloro, entre otros.

La CCME en 2010 menciona que una de las técnicas para la determinación de endosulfán para muestras en agua es la extracción con diclorometano seguido de la determinación mediante la cromatografía de gases con detector de captura de electrones, para la determinación de los niveles de residuos, se debe contemplar la suma de los isómeros  $\alpha$  y  $\beta$ , además de su metabolito.

## **2.2. Sitio de estudio: Canales de Ampampilco y Apatlaco (Xochimilco)**

La zona lacustre de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco se localiza en el llamado suelo de conservación o área rural, al sureste de la Ciudad de México como se puede apreciar en la figura 2.4; constituye un ecosistema remanente de la Cuenca de México formado por planicies inundadas naturales y cuerpos de agua inducidos, es un área natural de descarga del flujo subterráneo; su importancia, en términos de biodiversidad la determina la presencia de comunidades vegetales

características, los tulares, islas flotantes compuestas por tule. Alberga gran cantidad de especies de flora y fauna acuática y terrestre, algunas de ellas vulnerables y de distribución muy restringida como *Nymphaea mexicana* y el ajolote neoténico *Ambystoma mexicanum*, aportando un patrimonio genético importante, además de funcionar como zona de alimentación y reproducción de peces y aves (RAMSAR, 2004).

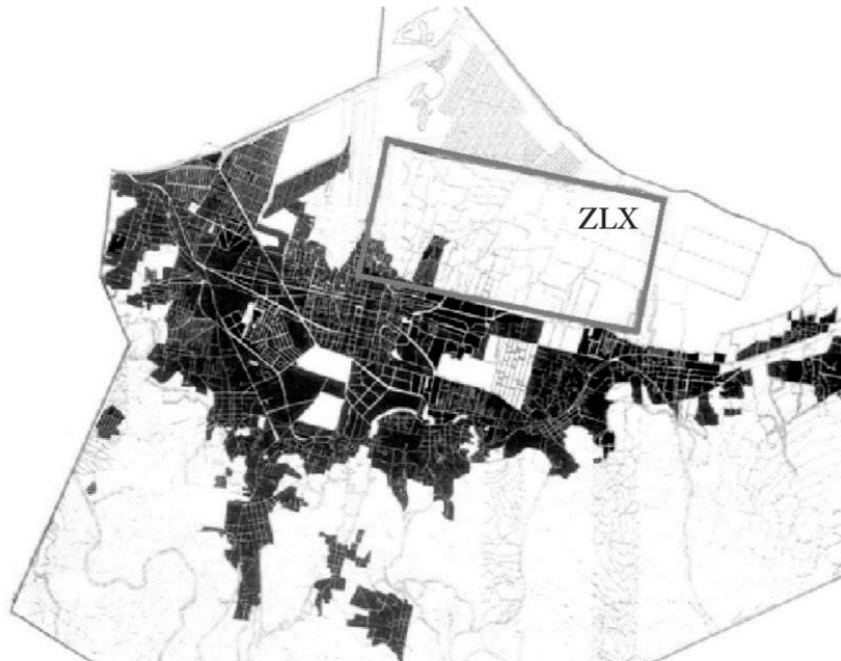


**Figura 2.4 Ubicación de la alcaldía Xochimilco**

Fuente: (Gil, 2015)

Los canales de Xochimilco (figura 2.5) son algunos de los últimos ambientes acuáticos que quedan de lo que fue un impresionante ecosistema lacustre en la época prehispánica, la gran cuenca del Valle de México. Aunque esta pérdida es enorme desde el punto de vista ecológico, no disminuyó el contenido cultural del lugar, ni su importancia económica; porque es todavía una fuente de abastecimiento agrícola para la población y cumple la función de ser un área de esparcimiento,

como en general sucede con los cuerpos de agua urbanos en varias ciudades del mundo, grandes o pequeñas (López, et al., 2015).



**Figura 2.5 Zona lacustre de Xochimilco**

Fuente: (Bojórquez, 2017)

La zona periurbana de Xochimilco comprende áreas semi-urbanizadas y diversos pueblos con vocación agrícola, entre ellos Xochimilco, Santa Cruz Acalpixca, San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco, así como lo que queda del sistema de lagos y canales de la Cuenca de México. Las chinampas son la principal forma de cultivo de la región, cuyo sistema de aprovechamiento y acoplamiento con el entorno biofísico, ha demostrado ser un ejemplo de agricultura sostenible y uno de los sistemas agrícolas más productivos del mundo. Las chinampas han logrado persistir en la actualidad gracias a su importancia ecológica y cultural, y desde 1971 han recibido —junto con el humedal de Xochimilco— reconocimientos y denominaciones a nivel nacional e internacional, con el fin de favorecer su conservación y resaltar su importancia, no solo para los habitantes de México, sino



a nivel mundial (Pérez, et al., 2018). La zona chinampera de Xochimilco pertenece al área natural protegida ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco por decreto de la UNESCO. En esta zona se desarrolla la agricultura (Guevara, et al., 2015).

Actualmente se desarrolla la rehabilitación de la red chinampera y del hábitat de especies nativas de Xochimilco (Zambrano, et al., 2014), tal como el ajolote (*Ambystoma mexicanum*) y la Rana de Moctezuma (*Rana montezumae*), tortugas palustres o casquitos (*Kinosternonhirtipes*) y el pez “charal” (*Chirostomajordan*) (Gil, 2015; Centro Ecoturístico Olintalli, 2018), por lo que es de gran importancia determinar los factores que de alguna forma pueden afectar dicha rehabilitación en la zona y de esta forma colaborar para el desarrollo del programa y de la región para la biota acuática que existe en los canales de Xochimilco.

### **2.2.1. Geología y edafología**

De acuerdo con el Plan Delegacional de Desarrollo Sustentable de Xochimilco se establece que en la zona plana o lacustre predominan sedimentos de tipo arcilloso intercalados con arenas de grano fino; fue aquí donde se formó el sistema de canales de Xochimilco, ubicado en la parte norte, en los cuales se encuentran basaltos del cuaternario fracturados y de gran permeabilidad (Gil, 2015).

En la porción sureste de la Cuenca de México, donde se localiza la actual zona chinampera de Xochimilco, se formaron suelos arcillosos debido al proceso de acumulación y alteración física y química de materiales aluviales y cenizas volcánicas en el ambiente lacustre, donde existían abundantes colonias de microorganismos y vegetación acuática (Guevara, et al., 2015).

Los suelos son predominantemente lacustres y palustres, de composición geológica diversa. Varían de acuerdo con la zona en que se encuentran, presentan un alto contenido de materia orgánica, son de colores oscuros; influenciados por la presencia de un manto freático cercano; son suelos profundos y discontinuos, debido a que se originaron como pequeños islotes rodeados de agua; algunos



autores clasifican estos suelos como antrosoles por el proceso de formación de las chinampas y la influencia humana (RAMSAR, 2004).

En la zona lacustre predominan sedimentos de tipo arcilloso intercalados con arenas de grano fino. Los suelos de esta zona presentan alrededor del 50% de cenizas volcánicas, con texturas que van desde las arenosas hasta las limo-arcillosas o más finas, lo que les confiere la propiedad de retener una alta cantidad de humedad (SAGARPA, 2007).



**Figura 2.6 Tipos de suelo**

Fuente: (INEGI, 2018)

De acuerdo con la información descargada de INEGI (Figura 2.6), se pueden observar 4 tipos de suelo siendo éstos: Phaeozem, Leptosol, Histosol y Solonchak; de los cuales sólo se encuentra el Histosol y Solonchak dentro de la zona chinampera.



Por otro lado, se considera que la evolución de estos suelos de origen ígneo hacia suelos con alto rendimiento agrícola, se debió a fuertes translocaciones de arcillas que se desarrollaron en condiciones de estabilidad durante largos periodos de tiempo lo cual ocurrió cuando se formaron los grandes lagos de la cuenca, que aunque de carácter somero, mantuvieron corrientes suaves e intermitentes como consecuencia de la glaciación e interglaciación (Guevara, et al., 2015).

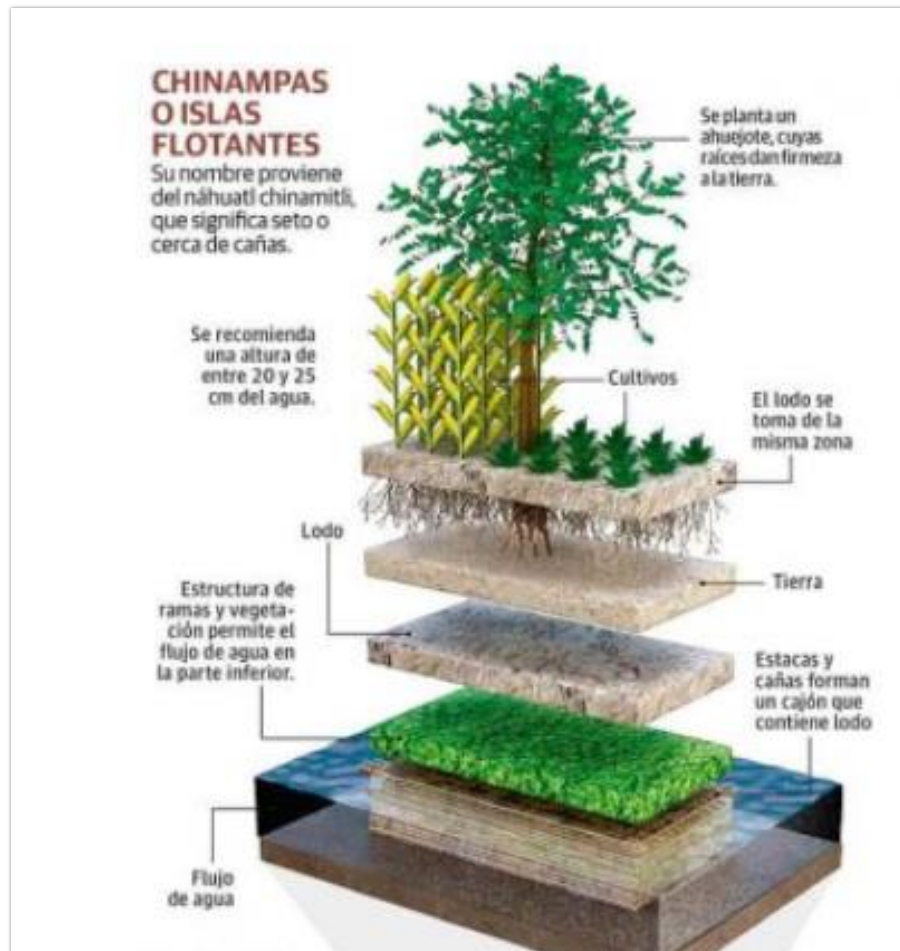
En las proximidades de la zona chinampera (zona de transición), los suelos son de tipo aluvial (a lo largo de una franja que corre de este a oeste sobre el límite sur del Área Sujeta a Conservación Ecológica), se componen de grava y arenas gruesas intercaladas con arcillas y pequeñas coladas de basalto, localizados principalmente al sur del pueblo Santa Cruz Acalpixca (Gil, 2015).

### **2.2.2. Agricultura**

De acuerdo con González y Torres (2014), se puede apreciar que el desarrollo de las chinampas tiene básicamente dos componentes; uno natural y otro social. El primero lo constituye la naturaleza del lugar. El segundo concierne lo social, es decir a la forma en que se organiza el trabajo, las prácticas culturales de cultivo y la implementación de métodos y tecnologías agrícolas que son el resultado de la sabiduría milenaria de los grupos autóctonos de las zonas chinamperas.

Desde tiempos prehispánicos, ha sido un lugar importante para el centro del país, debido a la realización de actividades agrícolas, mediante la creación de chinampas (Islas rectangulares construidas a base de capas de vegetación acuática, fango del fondo del lago y rocas, sobre una alfombra de varas entretejidas sumergida en aguas someras, sujetas a un cercado de postes y árboles de ahuejote para evitar la

erosión, figura 2.7) como forma de cultivo considerada única en el mundo; y la utilización de trajineras como transporte para el comercio regional (RAMSAR, 2004).



**Figura 2.7 Composición de chinampas**

Fuente: (masdemx, 2018)

Pérez et al en 2018 mencionan que de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en su edición de 2017, indica que la producción agrícola en las chinampas —ya sea por métodos tradicionales o a través de formas tecnificadas como los invernaderos— generó una derrama económica de aproximadamente 312 millones de pesos para la Ciudad de México en 2016. Económicamente, es la segunda alcaldía con mayor valor de producción agrícola

después de Milpa Alta (855 millones), y eso sin contar el valor de la producción de la floricultura.

Actualmente existen 20 mil chinampas en la Ciudad de México que ocupan una superficie de 30 mil 348 hectáreas, de las cuales dos mil 441 están destinadas para la agricultura, se producen alrededor de 19 mil toneladas de alimento, siendo los más importantes: el romerito con 4 mil 680 toneladas, brócoli con 4 mil 674 toneladas, lechuga con 4 mil 187 toneladas y verdolaga con mil 776 toneladas. Seguidas de éstas también se encuentran productos como la espinaca, calabacita, haba verde, apio, acelga y cilantro (SAGARPA, 2018).

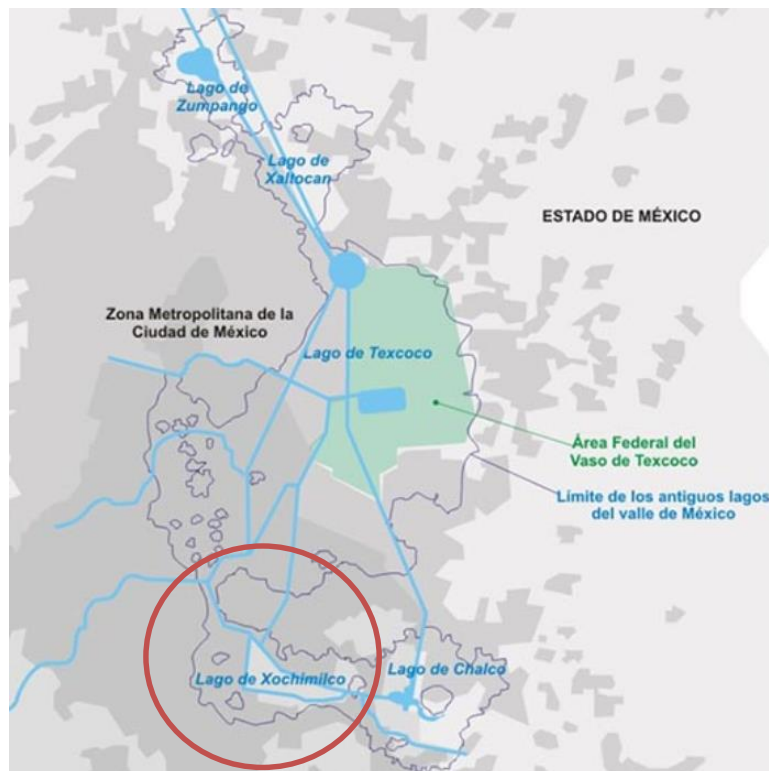


**Figura 2.8. Cultivo en zona chinampera**

Fuente: (SAGARPA, 2018)

### 2.2.3. Hidrología

Los canales de Xochimilco pertenecen (figura 2.9) a la región del Pánuco, dentro de la cuenca hidrológica del Río Moctezuma y la subcuenca Lago Texcoco-Zumpango (INEGI, 2005). Se estima una longitud aproximada de 203 km de canales conectados entre sí; entre los más importantes se encuentran: Cuemanco, Nacional, Chalco, Del Bordo, Apatlaco, San Sebastián, Ampampilco, Texhuilo, Zacapa, Caltongo, Santa Cruz y Japón. Las lagunas principales son Caltongo, Del Toro y el lago de Conservación de Flora, Fauna y Acuicultura de San Gregorio Atlapulco. Actualmente, los canales y lagunas son alimentados artificialmente con agua tratada de las plantas del Cerro de la Estrella, cuyo aporte es de 1 m<sup>3</sup>/s; San Luis Tlaxialtemalco, que aporta 0.225 m<sup>3</sup>/s; además de la planta de San Lorenzo Tezonco (RAMSAR, 2004).



**Figura 2.9 Ubicación actual del lago de Xochimilco**

Fuente: (nexos y Gallardo, 2018)

La hidrografía se caracterizó por la presencia de ríos y manantiales mismos que alimentaron los lagos y canales de la zona chinampera. De los ríos que desembocaban en la región de Xochimilco estaba el de San Buenaventura, localizado en la parte occidental. Tenía su nacimiento en la sierra del Ajusco, aunque también era alimentado por las lluvias y algunos manantiales situados en las faldas del Ajusco. El río San Buenaventura llegaba a la parte baja del valle a la altura del cruce de los caminos Tlalpan-Tepepan en donde cambiaba de pendiente hacia el lago de Xochimilco (Gil, 2015).

Por su colindancia hacia el sur con las Sierras Chichinautzin y Las Cruces, que son zonas de recarga debido a su alta capacidad de infiltración, el humedal se conformó en un lugar de descarga natural, que ha tenido procesos paulatinos de extracción artificial, tanto de agua superficial (manantiales) como subterránea (acuífero) para satisfacer las necesidades de la zona urbana de la Ciudad de México. Debido a que es un cuerpo de agua léntico, se presenta una mayor retención de sedimentos, enriqueciendo el fondo del mismo, para el beneficio de los organismos, así como a la actividad agrícola en las chinampas que aprovechan dicho sedimento (RAMSAR, 2004).

La calidad del agua es de dos tipos, en la zona que limita con las áreas montañosas y la planicie se considera cercana a condiciones naturales, debido a que ha recorrido distancias cortas y su flujo es rápido. En los canales y laguna del sistema lacustre es considerada de mala calidad debido a que son alimentados en parte por agua tratada y residual, contiene gran cantidad de compuestos químicos inorgánicos y orgánicos, como sales, metales pesados -cadmio, cromo y plomo como tóxicos y cobre, hierro y manganeso como esenciales- hidrocarburos, grasas, aceites, solventes industriales, herbicidas, pesticidas y desechos químicos producidos por actividades agrícolas (RAMSAR, 2004).

De acuerdo con Bojórquez, (2017) los principales cambios que han ocurrido en el sureste de la Cuenca en los últimos 500 años se muestran en la tabla 2.5:



**Tabla 2.4. Cambios en la Zona lacustre de Xochimilco**

Referencias históricas	Fases y etapas evolutivas	Principales características	Usos humanos-sociedad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Últimos años de vida prehispánica hasta la irrupción española (1500-1520)</b></li> <li>• <b>Colonia (1521-1821)</b></li> <li>• <b>Varios gobiernos independientes y parte del Porfiriato (1822-1884)</b></li> </ul>	<p>FASE LAGO</p>	<p>El lago Xochimilco, separado artificialmente del lago de Chalco, cubría unos 100 km<sup>2</sup> en 1521. Su agua era limpia y rica en peces y otros animales comestibles. Al final de esta fase estaba reducido a un espejo de agua de unos 45 km<sup>2</sup> y había comenzado la introducción de organismos nativos como las carpas y el lirio acuático.</p>	<p>Importante fuente de recursos alimenticios, además de ser vía de transporte y comercio local con otros sitios de la Cuenca. En sus orillas se practicaba la agricultura chinampera, altamente productiva, cultivándose primero especies nativas (maíz, calabaza, frijol, etc.) y agregándose después otras introducidas por los europeos. Población escasa, en pueblos separados, dedicada principalmente a la agricultura y la pesca.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gran parte del Porfiriato (1885-1910).</b></li> <li>• <b>Gobiernos revolucionarios y posrevolucionarios (1911 a la fecha)</b></li> </ul>	<p>FASE CANALES</p> <p>Etapas PI (perturbación inicial: 1885-1930)            Etapas PM (perturbación moderada: 1931-1970)            Etapas PS (perturbación severa: 1971 a la fecha)</p>	<p>Desaparición de los lagos Chalco y Xochimilco; conversión de éste en una red de canales y captación externa del agua de sus manantiales; introducción de agua de desecho, semidepuradas; reducción constante del área cubierta por el agua, excepto un aumento por las obras del PREX. Gradual eutrofización de los cuerpos de agua, salinización y sodificación de suelos, y contaminación química y biológica de ambos y del aire. Aumenta la introducción de biota no nativa, especialmente de peces; desaparición de muchas especies nativas.</p>	<p>Vía de comunicación exclusivamente local para fines de trabajo agrícola y cada vez más de servicios turísticos. Decae la agricultura chinampera en gran medida por la deficiente calidad del agua de riego extraída de los canales. Se capturan y consumen peces y otros animales cada vez más contaminados. Conversión gradual de los pueblos xochimilcas en una zona urbana continua. Población en rápido aumento, ocupada principalmente en el comercio y otros servicios locales y en empleos en otras partes de la CDMX.</p>

Fuente: (Bojórquez, 2017)

En la zona lacustre de Xochimilco predomina la contaminación del agua y suelo, en especial por sales inorgánicas y metales pesados. La contaminación por materiales orgánicos presumiblemente es también importante (debe haber muchos residuos de agroquímicos, en especial plaguicidas), pero se ha estudiado poco (Bojórquez, 2017).

Además, Bojórquez en 2017 menciona que desde 1988 comenzaron a realizar muestreos y monitoreos para la detección de plaguicidas dentro de los canales de Xochimilco, entre los cuales se reportan los siguientes:

**Tabla 2.5. Estudios de plaguicidas dentro de los canales de Xochimilco**

Autor	Tipo de estudio
<b>Enriquez 1990</b>	Detección de plaguicidas organoclorados y organofosforados con resultados negativos
<b>Peña, et al. 2001</b>	Detección de plaguicidas organofosforados en lirio acuático, tales como diazinón, malatión, fention y estion con resultados positivos.
<b>Reséndiz, 2005</b>	Uso y empleo de algunos plaguicidas, como diazinón, dicofol, lindano, pentaclorofenol, DDT, aldrín, dieldrín, entre otros.
<b>Hernández, 2005</b>	Determinación de plaguicidas organoclorados, endrín, endosulfán, dieldrín, DDE y aldrín mediante cromatografía de gases y microextracción en fase sólida.
<b>Chávez, 2012</b>	Remoción del metil paratión en el suelo chinampero de Xochimilco

Fuente: (Bojórquez, 2017)





### 2.3. Estimación de la concentración en agua superficial utilizando el modelo: *Pesticide in Water Calculator (PWC)*

El Pesticide in Water Calculator versión 1.5, estima la concentración de plaguicidas en cuerpos de agua superficial y subterránea que resultan de la aplicación al suelo. Esta fue diseñada como una herramienta de regulación por los usuarios en la Oficina de Programas de Plaguicidas de la EPA y en la Agencia Reguladora de Control de Plagas de la Salud de Canadá. Además, está basada en dos modelos: Modelo de la zona de raíces del plaguicida (PRZM por sus siglas en inglés) y el Modelo de agua de volumen variable (VWWM por sus siglas en inglés) (US EPA, 2016).

El PRZM es un modelo desarrollado para simular a escala diaria y en una dimensión el transporte y la transformación de plaguicidas en la zona no saturada, este considera procesos químicos esenciales que ocurren durante la filtración del plaguicida en movimiento del agua a través del suelo (Pérez, et al., 2018).

Las consideraciones que toma el modelo son las siguientes:

- El cálculo de escorrentía y erosión están basados en las metodologías Soil Service Conservation Curve Number (SCS-CN) y el Universal Soil Loss Equation (USLE) respectivamente.
- Los balances de agua están sustentados con las consideraciones para escorrentía, evapotranspiración, riego y precipitación.
- Además, considera parámetros meteorológicos como precipitación, factor de evaporación, temperatura, velocidad del viento y radiación solar.
- El movimiento vertical de agua es simulado mediante un concepto en el que el movimiento siempre es hacia abajo y se produce cuando un compartimiento del suelo se llena hasta su máxima capacidad.
- De las características del suelo necesarias para alimentar el programa están disponibles la capacidad del campo y el punto de marchitamiento, las cuales indican la necesidad de agua de un cultivo para su óptimo desarrollo.

- Las concentraciones disueltas, adsorbidas y en fase de vapor en el suelo se calculan considerando los procesos de escurrimiento, erosión, degradación, volatilización, lavado foliar, eliminación por absorción de la planta, lixiviación, dispersión y sorción de los plaguicidas.
- El transporte vertical se resuelve mediante una solución de diferencias finitas. El paso del tiempo es diario.

EL PRZM requiere de información del plaguicida, de su aplicación; así como de información general del escenario, contemplando las condiciones meteorológicas, así como el tipo de suelo y su profundidad hacia el manto freático (Pérez, et al., 2018).

Mientras que el VVWM es un modelo que utiliza modelos computacionales para estimar la exposición a plaguicidas en agua superficial. Estos modelos se utilizan para simular las aplicaciones de plaguicidas en los campos agrícolas, su posterior destino y el transporte en agua superficial y, en última instancia, las concentraciones ambientales calculadas (EEC) que son a la vez protectoras y científicamente defendibles (USEPA, 2016).

El concepto de este modelo contempla dos regiones: la columna de agua y la zona bentónica. Cada zona de forma individual está considerada completamente mezclada y en equilibrio con todas las fases en esa región, con el equilibrio descrito por una isoterma lineal. Las dos zonas están acopladas por un proceso de transferencia de masa de primer orden y mezcla turbulenta (US EPA, 2016).

#### **2.4. Análisis del riesgo utilizando el modelo de *Análisis Espacial y Asistencia en la toma de Decisiones (SADA)***

El riesgo de una actividad puede tener dos componentes: la posibilidad o probabilidad de que un resultado negativo ocurra y el tamaño de ese resultado. Por lo tanto, mientras mayor sea la probabilidad y la pérdida potencial, mayor será el riesgo (Hogarth RM citado por Echemendía T., 2011).



Si bien el uso de productos químicos en la agricultura se reduce a un número limitado de compuestos, la agricultura es una de las pocas actividades donde se descargan deliberadamente en el ambiente productos químicos para acabar con algunas formas de vida (FAO, 1997).

De acuerdo con lo que se desarrolla en este trabajo, se pueden considerar dos tipos de riesgo el ecológico y a la salud (tabla 2.6), ya que son dos tipos de riesgo que se pueden detectar en la zona de estudio, esto está determinado a partir de las concentraciones encontradas en la zona de estudio que están reportadas en la tabla 2.7, ya que en dicha zona se desarrollan actividades recreativas como la pesca, además la biota acuática puede ser afectada por la presencia de los plaguicidas organoclorados, por consiguiente puede existir alguna alteración en la cadena alimenticia.

Entonces, la sola presencia de contaminantes en el ambiente no constituye necesariamente un riesgo para la salud de las personas. Para que se genere o presente riesgo para la salud debe existir una fuente contaminante, un receptor, que en este caso corresponde a una población humana, y la posibilidad de migración del contaminante hasta un punto de contacto con el receptor, es decir, una ruta de exposición completa o potencialmente completa (Figura 2.10). Si no hay posibilidad de contacto entre personas y contaminantes, no hay posibilidad de exposición y no hay riesgo para la salud de las personas (Servicio de Evaluación Ambiental, 2012).

**Tabla 2.6. Riesgos por presencia de plaguicidas organoclorados**

Tipo de riesgo	Definición
<b>Riesgo ecológico</b>	Se denomina riesgo ecológico a la probabilidad de que las actividades humanas provoquen efectos indeseables en los animales, plantas y el ambiente (Ramírez y Mendoza, 2010).
<b>Riesgo a la salud</b>	Probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso para la salud como resultado de la exposición (contacto) a un peligro químico, físico o biológico, así como la propia gravedad de dicho efecto en salud (Martín, et al., 2016).

Fuente: (Ramírez y Mendoza, 2010; Martín, et al., 2016)



**Figura 2.10. Componentes del riesgo**

Fuente: (Servicio de Evaluación Ambiental, 2012)

**Tabla 2.7. Plaguicidas detectados en los canales de Xochimilco**

Plaguicida	Zona	Concentración (µg/L)
<b>Deisopropilatrazina (DIA)</b>	Apatlaco	12.02
<b>Desetilatrazina (DEA)</b>	Apatlaco	14.65
<b>DIA</b>	Ampampilco	9.16
<b>DEA</b>		3.66
<b>Endrín</b>	Apatlaco	0.0337
<b>Endrín aldehído</b>		Detectado
<b>DDT</b>		Detectado
<b>Heptacloro</b>	Bordo	Detectado
<b>Endosulfán sulfato</b>		0.0445
<b>Dieldrín y DDE</b>	Cotetexpan	0.0547
<b>Lindano</b>	Cuemanco	Detectado
<b>α-endosulfán</b>		Detectado
<b>endosulfán sulfato</b>		0.045
<b>Aldrín</b>	Draga	0.1123
<b>Dieldrín y DDE</b>		0.1417
<b>Endrín</b>		0.0677
<b>α-endosulfán</b>		Detectado
<b>Endosulfán sulfato</b>	Huetzalin	0.044
<b>Dieldrín y DDE</b>	Fernando Celada	0.177
<b>Endrín</b>		0.052
<b>Endosulfán sulfato</b>	Seminario	0.0845
<b>Dieldrín y DDE</b>		0.069
<b>Dieldrín y DDE</b>	San Diego	0.1577
<b>Endrín</b>	Toro	0.0327
<b>Endosulfán sulfato</b>		0.0245
<b>Endosulfán sulfato</b>	Xaltocan	0.026
<b>Dieldrín y DDE</b>	Zacapa	0.154

Fuente: (Hernández, 2005; Borja 2017)

De acuerdo con el desarrollo de este trabajo y con lo reportado por autores como Hernández en 2005 y Borja en 2017 existe la presencia de agroquímicos en la zona de estudio, lo cual puede representar un riesgo para la población que transita en dicha zona, por ello se requiere de un análisis para determinar si en los canales de Apatlaco y Ampampilco, los niveles de concentración de los plaguicidas exceden los parámetros establecidos en la normativa nacional o internacional, en donde inicialmente se identificará el peligro y posteriormente se realizará el análisis de riesgo acuerdo con lo obtenido en dicha zona.



#### **2.4.1. Riesgo por presencia plaguicidas organoclorados (aldrín, dieldrín y endosulfán)**

Las clases de contaminantes a las que se ven expuestas las poblaciones humanas y el resto de la biota del mundo son de una gran diversidad tanto por su naturaleza como por su comportamiento ambiental, además de los mecanismos con los que ejercen su acción sobre los seres vivos (Bojórquez, 2017).

Ferrer en 2003, menciona que la exposición a los plaguicidas puede tener efectos agudos, crónicos y a largo plazo. Algunos compuestos organoclorados (como el DDT) fueron los primeros en ser empleados en fumigaciones masivas para combatir la malaria y fueron prohibidos debido a su capacidad de bioacumulación y persistencia en el medio ambiente. Estos episodios se han producido sobre todo por vía alimentaria y en el terreno laboral. Otras causas de preocupación sanitaria son su capacidad carcinogénica y de ocasionar alteraciones reproductivas.

Entre los tipos de contaminantes que se han detectado en los canales de Xochimilco se encuentran los plaguicidas, los cuales son contaminantes orgánicos, estos provienen de la agricultura desarrollada en los últimos años con el empleo de agroquímicos para controlar las plagas (Borja, 2017; Hernández I., 2005; Bojórquez, 2017).

Los compuestos organoclorados son estimulantes del sistema nervioso. Su forma de acción es similar en insectos y humanos. Estos afectan fibras nerviosas, a lo largo de la fibra nerviosa, al perturbar la transmisión del impulso nervioso (Kamrin, 2000).

Debido a que el aldrín es rápidamente metabolizado a dieldrín tanto en animales como en plantas, encontrar residuos de aldrín es poco común en animales y solamente en pequeñas concentraciones. El dieldrín es altamente tóxico para la mayoría de especies estudiadas en laboratorio (valores con intervalo de 0.2 a 41



$\mu\text{g/L}$ ). En ranas el  $\text{LC}_{50}$  a 96h de dieldrín oscilaron entre 8.7  $\mu\text{g/L}$  para renacuajos de *Rana catesbeiana* a 71.3  $\mu\text{g/L}$  para renacuajos de *Rana pipiens* (Wexler, 2005).

La toxicidad aguda de los compuestos organoclorados a las especies acuáticas varia, pero es altamente tóxica. La evidencia de bioacumulación es más notable en lo alto de la cadena alimenticia dentro de la comunidad acuática. Los peces depredadores contienen la mayor carga y son los que sufren en la reproducción (Kamrin, 2000).

El endosulfán se ha estudiado en anfibios, como la *Rana pipiens* y en *Hyla versicolor*, se ha observado que puede originar una alta tasa de mortalidad aun en bajas concentraciones, aunque la mortalidad difiere ampliamente entre la variedad de especies de anfibios. Además, pueden afectar a la reproducción de algunos peces después de una exposición prolongada al plaguicida (Betancur, et al, 2015).

El Convenio de Rotterdam en 2011, menciona que utilizando los valores de concentración sin efecto observado (NOEC) en los organismos acuáticos más sensibles, los peces, después de la difusión de la fumigación y de la entrada en escorrentías, para diferentes usos en cultivos, la proporción de toxicidad/exposición (TER) indicó un riesgo potencial a largo plazo para los peces, incluso si se consideran amplias zonas de amortiguamiento. El riesgo también es potencialmente alto para las aves y mamíferos terrestres, las abejas y las lombrices de tierra.

El endosulfán puede ingresar al sistema sanguíneo por tres vías: inhalación, absorción dérmica o por ingesta de alimentos contaminados; los estudios de toxicidad aguda y crónica en animales de laboratorio indican que causa efectos neurotóxicos (Betancur, et al, 2015) Mientras que el aldrín se absorbe mediante la ingestión, inhalación o contacto dérmico, posteriormente a la absorción este es metabolizado rápidamente a dieldrín, raramente es detectado el aldrín (Honeycutt y Shirley, 2014).

En estudios toxicológicos, se han detectado daños en hígado, pulmón, riñón en animales (Mor & Ozmen, 2003); en tanto en otros estudios en mujeres se detectaron



daños en los parámetros hematológicos luego de la exposición repetida al endosulfán (Hernández, et al, 2002).

En estudios recientes Rau, et al en 2012 investigaron acerca de la prevalencia de cáncer hematológico en niños en la India, en donde se encontró que los niños tenían niveles detectables de endosulfán en la médula ósea (10 ng/ml), los niños que presentaron niveles detectables de dicho compuesto, pertenecían a zonas expuestas al plaguicida.

Mientras que el dieldrín principal metabolito del aldrín, ha sido estudiados desde hace tiempo debido a que el aldrín metaboliza rápidamente en el cuerpo humano a dieldrín y este se ha detectado en el hígado, grasa corporal, semen; así como en altos niveles de concentraciones en placenta, glándulas mamarias, médula ósea y cuerpo lúteo ovárico en mujeres (Jorgenson, 2001).

De acuerdo con Honeycutt y Shirley en 2014 varios bioensayos de cáncer en ratas han producido resultados en su mayoría negativos, pero con un aumento en la incidencia de afectaciones al hígado como hiperplasia, carcinomas y hepatomas con exposición crónica.

Debido a lo mencionado anteriormente las rutas de exposición consideradas de acuerdo con el sitio de estudio serán por contacto dérmico y por ingestión de peces; el primero debido a que el agua entra en contacto con los pobladores que utilizan lanchas o canoas que son de uso diario; y por ingesta debido a que la gente consume peces que habitan en los canales, esta información se conoce debido a que la gente del sitio comentó que era común que consumiera peces de todos los canales, ambos casos son vías ingreso al cuerpo humano tal como lo indican Bentancur, et al, 2015 y Honeycutt y Sherley, 2014.

#### **2.4.2. Modelo de Análisis Espacial y Asistencia en la toma de Decisiones (SADA)**

El software para el análisis espacial y asistencia en la toma de decisiones (SADA) integra distintos algoritmos para la ayuda directa en el análisis de riesgo a la salud





humana y riesgo ecológico en un área específica. Estas herramientas incluyen los módulos integrados para la visualización, el análisis geo-espacial, el análisis estadístico, la evaluación de riesgo para la salud humana, la evaluación de riesgo ecológico, el análisis costo/beneficio, el diseño de muestreo y el análisis de la decisión (Rhim y Anacona, 2004).

La evaluación de riesgo para la salud humana se refiere a la estimación del riesgo carcinogénico y al peligro no carcinogénico causado por la exposición a un medio contaminado. La estimación del riesgo a la salud mediante SADA está basado en la Guía de evaluación de riesgos de la EPA para el Superfund (programa del gobierno federal de los Estados Unidos diseñado para financiar la limpieza de sitios contaminados con sustancias peligrosas y contaminantes). SADA proporciona un módulo de evaluación para calcular el riesgo de exposición a sustancias químicas tóxicas que se encuentran en agua subterránea, superficial, suelos y sedimentos (Stewart, et al., 2009).

Además Stewart et al. en 2009, mencionan que el riesgo de exposición a contaminantes depende de tres factores amplios e interconectados:

- 1) El tipo de contaminante,
- 2) La gravedad de la contaminación, dependiendo de la concentración y
- 3) El método de exposición.

Estos tres factores se pueden unir para producir dos cálculos importantes: el objetivo de remediación preliminar (PRG) y el cálculo del riesgo carcinogénico y/o el índice de salud.

Las ecuaciones que se utilizaron para la estimación de la dosis de exposición y posteriormente realizar el cálculo del riesgo a la salud dependiendo si la sustancia se toma como carcinógena o no carcinógena, las cuales se muestran a continuación, considerando que se considerarán la vía de contacto dérmico (1) y por ingesta de peces (2), además el uso de agua será para el tipo de ambiente

recreacional, ya que se realizan actividades como el viaje en canoas y algunos pobladores ingieren peces que se encuentran en la zona de los canales de Apatlaco y Ampampilco.

$$Ec. (2.1) \quad Consumo_{der} = \frac{C_{wn} \times P_c \times SA \times CF_6 \times EF \times ED \times ET}{CF_2 \times BW \times AT}$$

Donde,

$C_{wn}$  es la concentración de la sustancia (mg/L),  
 $P_c$  es la constante de permeabilidad en la piel (cm/h),  
 $SA$  es la superficie de piel expuesta (m<sup>2</sup>),  
 $CF_6$  es el factor de conversión (L m/cm m<sup>3</sup>),  
 $EF$ , es la frecuencia de exposición (evento/año),  
 $ED$ , es la duración de exposición (año),  
 $ET$ , es el tiempo de exposición (h/evento),  
 $CF_2$ , es el factor de conversión (día/año),  
 $BW$  es el peso corporal (kg),  
 $AT$  es el tiempo de vida media (año).

$$Ec. (2.2) \quad Consumo_{peces} = \frac{C_{wn} \times B_p \times IR_p \times FI \times ED \times EF}{CF_2 \times BW \times AT}$$

Donde,

$C_{wn}$  es la concentración de la sustancia (mg/L),  
 $B_p$  es el coeficiente de transferencia en pez (L/kg),  
 $IR_p$  es la tasa de ingestión (kg/pez),  
 $FI$  es la dieta fraccionada,  
 $EF$ , es la frecuencia de exposición (pez/año),  
 $ED$ , es la duración de exposición (año),  
 $CF_2$ , es el factor de conversión (día/año),  
 $BW$  es el peso corporal (kg),  
 $AT$  es el tiempo de vida media (año).

Fuente: (University of Tennessee, 1996)

Los valores que adquiere cada parámetro se mencionan en el capítulo correspondiente a los resultados.

La evaluación del riesgo ecológico es el proceso que parte de obtener la probabilidad de que se produzcan efectos adversos en los receptores ecológicos



como resultado de la exposición a uno o más factores estresantes. A menudo se lleva a cabo en un proceso de varios niveles/pasos múltiples, comenzando con un modelo conceptual preliminar y una descripción del sitio que recopila información existente y constituye la base para una evaluación de detección (Stewart, et al., 2009).

La evaluación del riesgo ecológico es un proceso de varios pasos que comienza con la selección y caracterización de los riesgos ecológicos de las actividades humanas. SADA apoya muchos de los pasos en la evaluación de riesgos ecológicos atípicos. El módulo de riesgo ecológico permite a los usuarios realizar pruebas de referencia y la capacidad de calcular la dosis de avance para una serie de receptores terrestres y acuáticos (Stewart y Purucker, 2006).

La caracterización del riesgo incorpora los resultados de las actividades previas para estimar la probabilidad de que ocurran efectos significativos y describe la naturaleza, la magnitud y el alcance de los efectos en los puntos finales de evaluación designados. Los resultados de la dosis también se pueden mostrar espacialmente o en tablas. SADA también le permite al usuario ingresar valores de referencia de toxicidad de la literatura para determinar si un contaminante es un problema en el sitio, y si es así, qué partes del sitio están causando el problema (Stewart y Purucker, 2006; Stewart, et al, 2009).

De acuerdo con Purucker et al. en 2007, el cálculo del riesgo a la salud mediante SADA implementa la técnica de la EPA, se apoya en bases de datos de la EPA para el cálculo de la exposición las cuales son el IRIS (por sus siglas en inglés) y contiene un registro de más de 500 sustancias químicas, a través de esta se accede a información actualizada sobre los efectos a la salud humana; y las tablas HEAST (por sus siglas en inglés) las cuales recopilan información toxicológica actualizada incluyendo entre otros parámetros las RfD y se obtienen de cinco fuentes toxicológicas; ambas bases de datos se usan para efectos carcinógenos o no

carcinógenos, además contiene parámetros de exposición de forma predeterminada.

Además, menciona que los datos de entrada del programa son el medio a valorar como puede ser: suelo, sedimento, agua superficial, agua subterránea; también el tipo de escenario de exposición tales como: residencial, industrial, recreacional, agrícola y excavación, igualmente necesita la ruta de exposición como pueden ser: ingestión, inhalación y contacto dérmico. Ayudado de parámetros físicos para la modelación de factores de bioacumulación, volatilización, factores de emisión de partículas, constantes de permeabilidad, factores de absorción, coeficientes de saturación y vida media de radionucleidos. Todo esto apoyado por las bases de datos IRIS y HEAST (Purucker, et al, 2007).

Con todo lo anterior SADA produce dos cálculos importantes: los PRG (preliminary remediation goal) y el cálculo de riesgo carcinógeno. Este último es el valor esperado para realizar el análisis en el trabajo.

Actualmente por información personal de Rodrigo en 2019 (correo: jrodrigo@upv.es), se está utilizando este programa dentro de la comunidad Valenciana para estudiar los riesgos de contaminación por los plaguicidas terbutilacina y clorpirifós en cultivos de cítricos. También se ha utilizado para la evaluación de riesgos en suelos contaminados por metales pesados (Ioana, 2018).

## **2.5. Marco legislativo**

Debido a la falta de regulación y monitoreo en el país, no se tiene información detallada sobre el uso de plaguicidas. De hecho, únicamente se cuenta con el catálogo oficial de plaguicidas que no ha sido actualizado en más de una década, y excluye información sobre los recientes descubrimientos de la peligrosidad de estos tóxicos; a pesar de ello existen normas que establecen límites máximos permisibles para la calidad del agua en las cuales contemplan algunos plaguicidas, aunque



estas no son suficientes, ya que el agua no es la única ruta de acceso para los seres humanos.

Es por ello que es necesaria una legislación que contemple la regulación para el uso y aplicación de plaguicidas, en donde se establezcan parámetros y límites máximos permisibles en agua para evitar la afectación a la biota acuática, así como en suelos y alimentos; es decir, es importante que la normativa no solamente contemple las afectaciones por ingesta de agua, sino también considere otras vías de contaminación.

A continuación se menciona la legislación que indica la obligación para la conservación y cuidado del agua y esta comienza desde la Carta Magna y continua con la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento, se mencionan los artículos que establecen la importancia del cuidado de esta, sin importar el tipo de uso.

### **2.5.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

Para establecer un orden en cuanto a la legislación ambiental, todo parte e inicia de la ley suprema que es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos promulgada en 1917, la cual expide los derechos y obligaciones que se deben de tener y respetar para poder convivir en un equilibrio, social, económico y ambiental.

De la Constitución derivan leyes, reglamentos y las normas oficiales que se deben de cumplir para tener el equilibrio antes mencionado, por lo cual en el Capítulo I que habla de las garantías individuales, dentro de su artículo 4° “Toda persona tiene derecho a un ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar”.

Mientras que, en el mismo Capítulo, pero en el artículo 27 dice que “La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.”

La figura 2.11 ilustra el marco jurídico en materia ambiental.



**Figura 2.11 Marco jurídico en materia ambiental**

Fuente: (Vidal et al., 2015)

### 2.5.2. Ley de Aguas Nacionales

Como se mencionó en el apartado anterior, la Ley de Aguas Nacionales se deriva de la Constitución Política de los Estados Mexicanos, la cual es aplicable para todo el territorio nacional y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integro y sustentable, todo esto se menciona en el artículo 1 de dicha ley.



Además, en su artículo 2 menciona que las disposiciones de la ley son aplicables para todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo.

En el título séptimo, que tiene por nombre Prevención y control de contaminación de las aguas y responsabilidad por daño ambiental, en su capítulo I en el art. 87, menciona que, "La Autoridad del Agua" determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales.

### ***Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales***

Dicho reglamento menciona en su artículo 1°, que este ordenamiento tiene por objeto reglamentar la Ley de Aguas Nacionales. Cuando en el mismo se expresen los vocablos "Ley", "Reglamento", "La Comisión" y "Registro", se entenderá que se refiere a la Ley de Aguas Nacionales, al Reglamento de la LAN, a la Comisión Nacional del Agua y al Registro Público de Derechos de Agua, respectivamente.

En el artículo 140 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales menciona que, para determinar las condiciones particulares de descarga, "La Comisión" tomará en cuenta los parámetros y límites máximos permisibles contenidos en las normas oficiales mexicanas que emitan las autoridades competentes en materia de descargas de aguas residuales y para el tratamiento de agua para uso o consumo humano, así como los parámetros y límites máximos que deriven de las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales que se publiquen en los términos del artículo 87 de la "Ley".

Asimismo, para determinar las condiciones particulares de descarga, "La Comisión" tomará en cuenta los derechos de terceros para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales del cuerpo receptor de que se trate, las restricciones que imponga la programación hidráulica aprobada en los términos de la "Ley" y el "Reglamento" y las demás consideraciones de interés público o de salubridad general que,

debidamente fundadas y motivadas, emitan las autoridades competentes y que establezcan restricciones adicionales para la descarga de aguas residuales en los cuerpos receptores a que se refiere la "Ley".

### 2.5.3. Parámetros de calidad del agua y para plaguicidas en agua nacionales e internacionales

#### *Parámetros de calidad del agua nacionales*

Debido a que uno de los objetivos de este trabajo es determinar la calidad del agua del sitio de estudio, se enlistan los parámetros a evaluar en este trabajo y sus niveles de aceptación según los estándares nacionales (DBO<sub>5</sub>, DQO) e internacionales (oxígeno disuelto, sólidos disueltos y pH) para cuerpos de agua superficial.

De acuerdo con lo reportado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2014 como se puede observar en la tabla 2.8, los niveles de aceptación para DBO<sub>5</sub> y DQO para cuerpos de agua superficial son:

**Tabla 2.8. Categorías del estado para agua superficial para DBO y DQO**

Categoría	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)
<b>Excelente</b>	Menor a 3	Menor a 10
<b>Buena calidad</b>	Entre 3 y 6	Entre 10 y 20
<b>Aceptable</b>	Entre 6 y 30	Entre 20 y 40
<b>Contaminada</b>	Entre 30 y 120	Entre 40 y 200
<b>Fuertemente contaminada</b>	Mayor a 120	Mayor a 200

Fuente: (CONAGUA, 2014)

#### *Regulaciones internacionales para plaguicidas*

Debido a que en México no hay normas o guías para la protección de la vida acuática, se tomaron en cuenta algunas guías internacionales, las cuales tienen



establecidos límites máximos permisibles para plaguicidas organoclorados, como aldrín, dieldrín y endosulfán, con ello se pretende tener parámetros de referencia, en la tabla 2.9 se enumeran los dichos valores de acuerdo con la CCME, la EPA y la Comunidad Europea:

**Tabla 2.9. Límites máximos permisibles de guías internacionales**

Plaguicida	CCME <sup>2008</sup> (µg/L)	EPA <sup>1985</sup> (µg/L)	CE <sup>2013</sup> (mg/L)
Aldrín	0.004	3	0.01
Dieldrín	0.004	0.24	0.01
Endosulfán	0.02	0.22	0.005

Fuente: (CCME, 2008; EPA, 1985; CE, 2013).

#### *Parámetros de calidad del agua internacionales*

La tabla 2.10 muestra otros parámetros para evaluar la calidad del agua para la protección de la vida acuática.

**Tabla 2.10. Parámetros permisibles de guías internacionales**

Parámetro	CCME <sup>2008</sup>	EPA <sup>1986</sup>
Oxígeno disuelto	5 mg/L	4-6.5 mg/L
pH	6.5-9.0	6.5-9
Sólidos disueltos totales	-	250 mg/L

Fuente: (CCME, 2008; EPA 1986)



### CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

El trabajo inició con una búsqueda de información bibliográfica, la cual ayudó para seleccionar el sitio de estudio y posteriormente elaborar y desarrollar el plan de muestreo, todo esto para realizar la identificación por presencia de plaguicidas organoclorados como aldrín, endosulfán y dieldrín en el sitio de estudio. Además, se realizaron visitas exploratorias para ubicar el mejor acceso y para hablar con la gente que habita el sitio, también se logró identificar el sitio de distribución de los plaguicidas en Xochimilco.

Durante la elaboración del plan de muestreo se verificó el equipo adecuado para obtener los parámetros que servían para caracterizar el cuerpo de agua, además se ubicaron los puntos de muestreo en el área cercana a los cultivos, contemplando también la zona donde se utilizan agroquímicos de acuerdo con Hernández (2017). Otra actividad que se realizó, fue identificar la técnica para realizar las extracciones y determinaciones para las muestras de suelo y agua.

En el sitio de muestreo se recolectaron las muestras de agua en recipientes de polipropileno y de suelo en bolsas de plástico, además se determinaron los siguientes parámetros en el sitio: oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos totales, esto con el fin de caracterizar el cuerpo de agua.

También se determinó la DQO a partir de la técnica HACH y la DBO<sub>5</sub>, además de las concentraciones de aldrín, dieldrín y endosulfán en las muestras de agua y suelo para que éstas fuesen alimentadas a los programas Pesticide in Water Calculator (PWC) y Spatial Analysis and Decision Assistance (SADA).

Después del muestreo se hizo una visita exploratoria, para averiguar si aún distribuyen los plaguicidas organoclorados en la zona de estudio, por lo que se pudo hablar con gente que vende plaguicidas y afirmaron que el endosulfán aún continúa siendo comercializado, mientras que el aldrín y dieldrín no tuvieron certeza, el

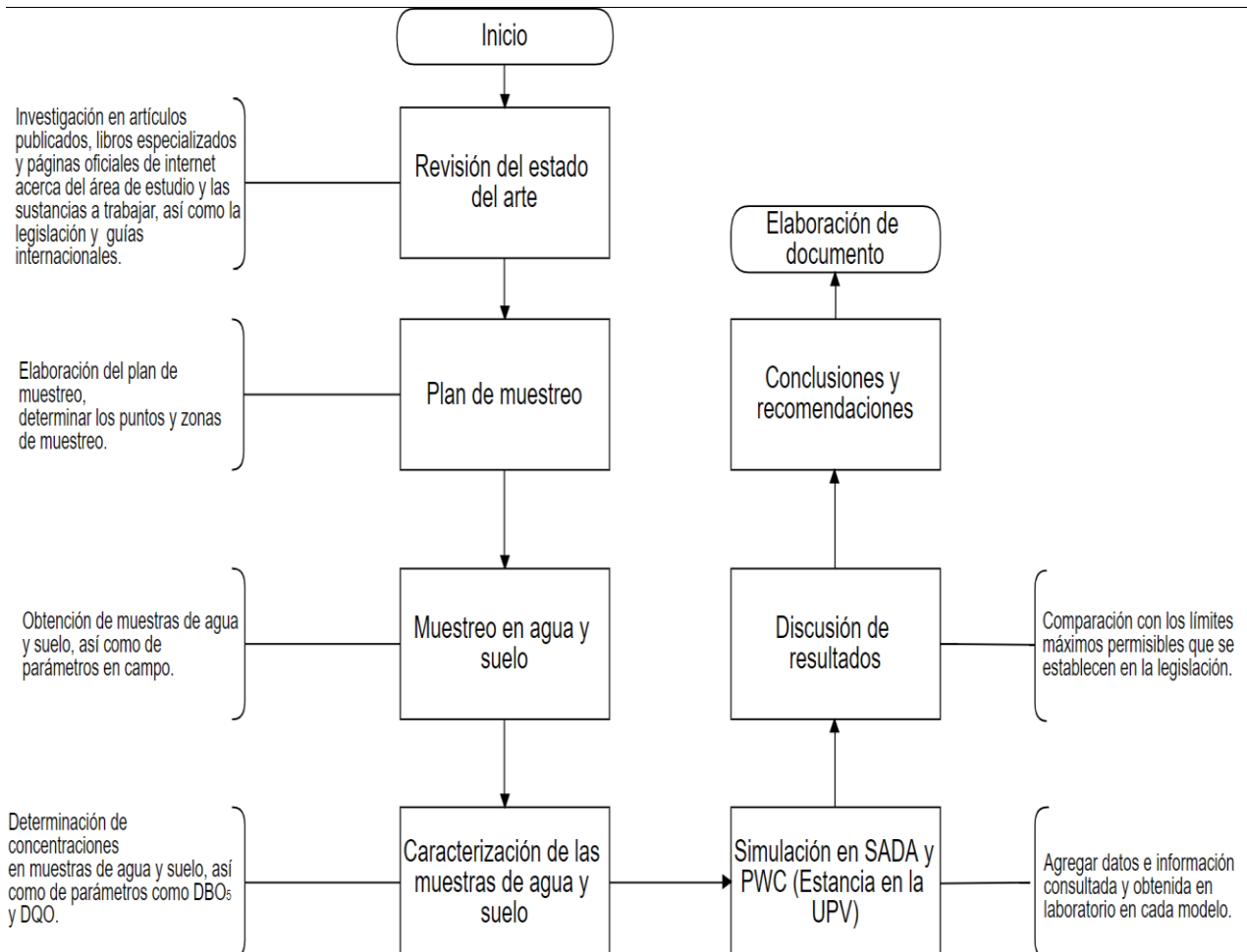


endosulfán se comercializa como Thiodan y como lo reporta Hernández, 2005 desde esa época se ha detectado este compuesto o sus metabolitos en zonas de estudio como lo son los canales de Bordo, Cuemanco, Draga, Huetzalin, Seminario, Toro y Xaltocan; mientras que el aldrín y dieldrín se han encontrado en canales como son: Cotetexpan, Draga, Fernando Celada, Seminario, San Diego y Zacapa; por lo que debido al uso desmedido y a que en Apatlaco y Ampampilco ahora son zonas donde existen áreas de cultivo de floricultura y de algunos alimentos, por lo que se requiere hacer una análisis para saber si ahora representa un riesgo o si las concentraciones han aumentado y cómo es que afecta a la salud de las personas que habitan o hacen uso de estos canales, ya que dicha población consume peces del sitio y además transita frecuentemente dichos canales para entrar y salir de su hogar o de su lugar de trabajo.

Finalmente se realizó el análisis del riesgo para los plaguicidas aldrín, dieldrín y endosulfán, de acuerdo con las concentraciones obtenidas en suelo y agua, esto con ayuda de los programas PWC de la EPA y SADA.

### **3.1. Metodología**

La metodología empleada en este trabajo se detalla en la figura 3.1, en la cual se considera desde la revisión bibliográfica hasta la obtención de conclusiones, recomendaciones y la elaboración del presente documento.



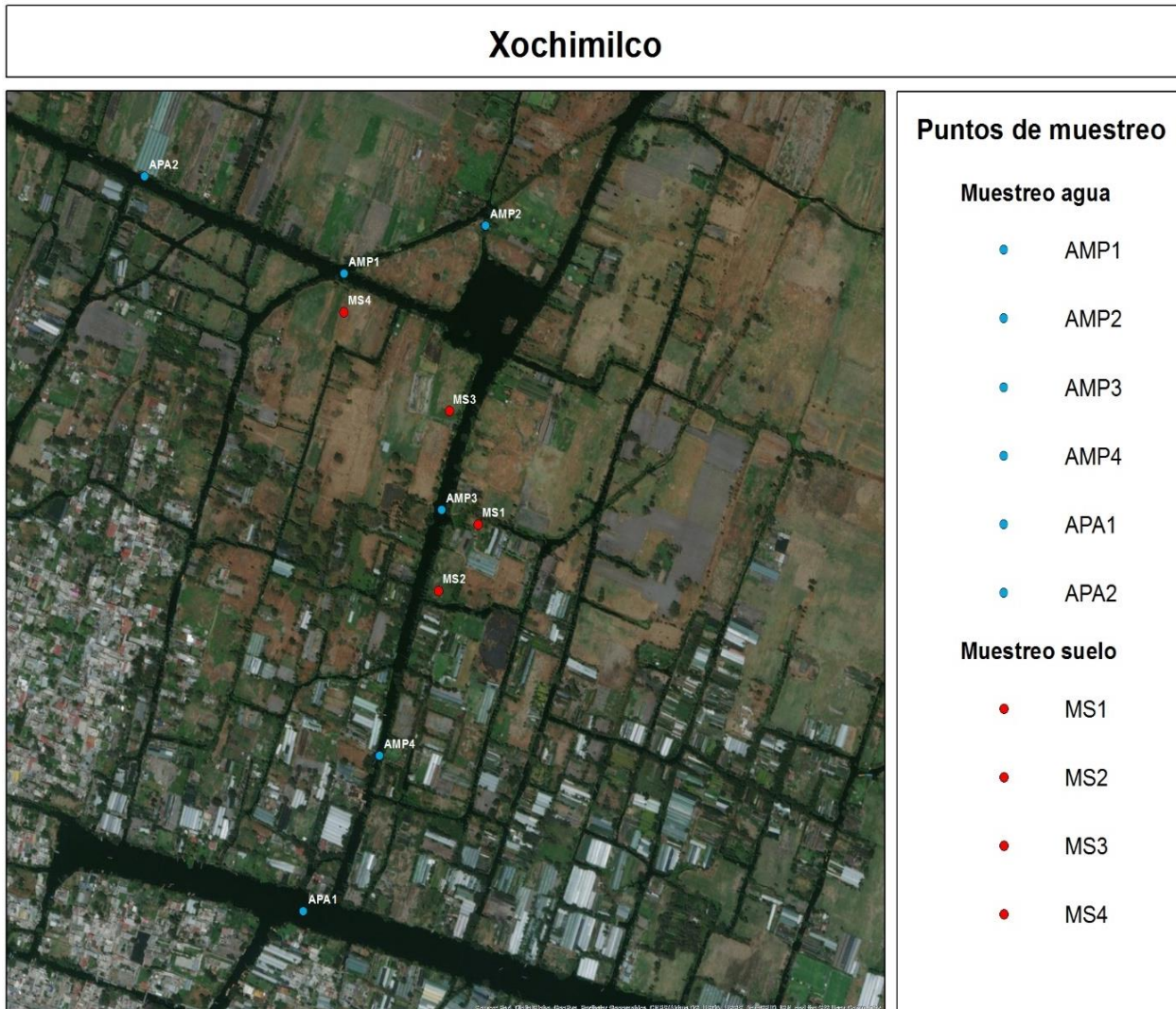
**Figura 3.1. Metodología**

### 3.2. Muestreo

El muestreo se desarrolló en la zona chinampera de Xochimilco, específicamente en los canales de Ampampilco y Apatlaco, ya que entre estos canales se tiene identificada la zona donde se utilizan agroquímicos de acuerdo con Hernández, (2017).

La visita se realizó en época de lluvia, las muestras se tomaron en las entradas, salidas y partes de homogeneización, el trabajo de campo de las muestras de agua se realizó de acuerdo como lo recomendado por la NMX-AA-014-1980 para las muestras de agua y las muestras de suelo se obtuvieron de zonas de cultivo de maíz y se tomaron consideraciones según la NOM-021-RECNAT-2000, en la figura

3.2 se puede observar la red de muestreo que se eligió para la zona detectada con el uso de agroquímicos.



**Figura 3.2. Zona de muestreo**

La localización de cada punto para las muestras de agua, se reporta en la tabla 3.1 y en la tabla 3.2 para las muestras compuestas tomadas en suelos.

**Tabla 3.1 Muestreo en agua**

Canal	Punto	Ubicación geográfica	
		Latitud	Longitud
Ampampilco	AMP1	19°16'19.55"	-99°5'23.48"
Ampampilco	AMP2	19°16'21.59"	-99°5'16.29"
Ampampilco	AMP3	19°16'9.45"	-99°5'18.53"
Ampampilco	AMP4	19°15'58.95"	-99°5'21.67"
Ampampilco	APA2	19°16'23.7"	-99°5'33.6"
Apatlaco	APA1	19°15'52.30"	-99°5'25.54"

**Tabla 3.2 Muestreo en suelo**

Zona	Punto	Ubicación geográfica	
		Latitud	Longitud
Ampampilco	MS1	19°16'8.83"	-99° 5'16.69"
Ampampilco	MS2	19°16'6.00"	-99° 5'18.70"
Ampampilco	MS3	19°16'13.68"	-99° 5'18.16"
Ampampilco	MS4	19°16'17.90"	-99° 5'23.50"

La determinación de cada punto a muestrear en agua se basó en las áreas de cultivo más cercanas, las cuales se tomaron a 20 cm de la superficie y se recolectaron muestras por duplicado en cada punto en recipientes de polipropileno de un litro (figura 3.3) y posteriormente un recipiente de cada punto se colocó en bolsas negras para evitar la degradación por fotólisis, finalmente se etiquetaron y se guardaron en la hielera (figura 3.4). Debido a que los canales tienen una profundidad aproximada de 70 cm, no se pudo tomar a una profundidad menor para no remover los sedimentos.



Las muestras se almacenaron en el cuarto de refrigeración del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la Facultad de Ingeniería, posteriormente fueron trasladadas al laboratorio de análisis químico del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en donde se realizaron las determinaciones de la detección de plaguicidas.

Además, se midieron algunos parámetros en campo, para realizar la caracterización del agua: pH, temperatura, sólidos totales, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.

En cuanto a los puntos de suelo, se tomaron muestras compuestas de las zonas de cultivo de maíz a una profundidad de 20 cm, después se realizó un cuarteo (figura 3.3) para homogenizar de una mejor forma la muestra, se colocaron en bolsas de plástico de 2 kg, se etiquetaron con sus coordenadas respectivas. Posteriormente las muestras se colocaron en una hielera (figura 3.5) y se mantuvieron en ella hasta el arribo al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería, en el cual se guardaron en refrigeración, posteriormente fueron trasladadas al laboratorio de análisis químico del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en donde se realizaron las determinaciones para la detección de plaguicidas organoclorados.



**Figura 3.3. Toma de muestras de agua**



**Figura 3.4. Muestreo en suelos**



**Figura 3.5. Muestras de agua en hielera**



**Figura 3.6. Muestras de suelo en hielera**

### 3.2.1. Parámetros obtenidos en campo y laboratorio

Los parámetros obtenidos en campo, se realizaron con los siguientes equipos, los cuales fueron calibrados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental:

- Medidor de Oxígeno Disuelto con sonda YSI modelo 58
- Equipo de sólidos disueltos totales (TDS), marca Corning modelo TDS-60.
- Potenciómetro marca Conductronic modelo PC18



**Figura 3.7. Medidor de oxígeno**



**Figura 3.8. Medidos de TDS**



**Figura 3.9. Potenciómetro**





Las determinaciones de  $\text{DBO}_5$  y DQO se realizaron en laboratorio mediante la técnica, APHA-AWW-WEF (1999) y HACH (2000) respectivamente, como se puede consultar en las figuras 6.1 y 6.8 del Anexo A.

### **3.3 Análisis de plaguicidas en muestras de agua y suelo**

Las determinaciones de plaguicidas organoclorados en las muestras de agua y suelo se realizaron mediante lo indicado en la USEPA, 2007 Método 8081B "Plaguicidas organoclorados mediante cromatografía de gases", en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

#### **3.3.1. Muestras de agua**

Para la determinación de los plaguicidas organoclorados, se realizó lo indicado en la figura 6.12 del Anexo A, dichas determinaciones se realizaron por duplicado.

#### **3.3.2. Muestras de suelo**

Para la determinación de los plaguicidas organoclorados, se realizó lo indicado en la Figura 6.14 del Anexo A, dichas determinaciones se realizaron por cuadruplicado.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN

### 4.1 Evaluación de los parámetros obtenidos en campo y laboratorio

Conforme a lo establecido en la metodología en este apartado se reportan los resultados obtenidos en el laboratorio y de acuerdo con lo realizado se obtuvieron las concentraciones de plaguicidas organoclorados reportadas en la tabla 4.1. De las determinaciones realizadas por duplicado se reportan los valores con mayor concentración en cada caso, de acuerdo con lo proporcionado por CENAPRED (Anexo C).

**Tabla 4.1 Plaguicidas organoclorados en muestras de agua**

Plaguicida	Muestras de agua ( $\mu\text{g/L}$ )		
	APA 2	AMP2	APA1
<b>Aldrín</b>	N.D.	N.D.	9.54
<b>Dieldrín</b>	N.D.	48.42	N.D.
<b>Endosulfán I</b>	N.D.	N.D.	29.91
<b>Endosulfán II</b>	55.02	N.D.	63.97

En el caso de las muestras en suelo se obtuvieron las concentraciones de plaguicidas organoclorados reportadas en la tabla 4.2. De las determinaciones realizadas por cuadruplicado se reportan los valores con mayor concentración en cada caso, de acuerdo con lo proporcionado por CENAPRED (Anexo C).

**Tabla 4.2 Plaguicidas organoclorados en muestras de suelos**

Plaguicida	Muestras de suelo ( $\mu\text{g/kg}$ )	
	MS1	MS4
<b>Aldrín</b>	1.43	N.D.
<b>Dieldrín</b>	3.72	N.D.
<b>Endosulfán II</b>	N.D.	3.19

Conforme a las determinaciones realizadas mediante la cromatografía de gases en laboratorio se detectaron los plaguicidas organoclorados: aldrín, dieldrín,

endosulfán I y endosulfán II, estos se encontraron en el suelo para el caso de aldrín, dieldrín y endosulfán II, mientras que para las muestras en agua se identificaron los 4 plaguicidas, siendo el canal de Apatlaco el más afectado, ya que se encontraron 3 de estos plaguicidas.

La presencia de estos plaguicidas en concentraciones mayores a lo indicado por la CCME (2008), la EPA (1985) y la CE (2013) no es indicativo de que representen un riesgo para la biota acuática o la salud humana en las zonas estudiadas, por lo cual es necesario realizar el análisis de riesgo para determinar si dichas concentraciones representan un riesgo para los casos mencionados.

Los parámetros obtenidos en campo y laboratorio se reportan en la tabla 4.3:

**Tabla 4.3 Parámetros obtenidos en campo y laboratorio**

Punto muestreado	pH	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	C. eléctrica (mS)	TDS (ppm)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)
AMP1	7.5	21	3.6	3.2	355	9.3	4.25
AMP2	8	21	4.1	3.6	365	7.9	21.75
AMP3	7.3	21	3.6	4.2	380	10.7	46.75
AMP4	7.4	21	6	4.1	402	11.1	109.25
APA2	7.8	21	2.5	3.7	386	7.9	36.75
APA1	8.1	23	1.9	3.9	375	10	71.75

Para determinar la calidad del agua para la conservación de la vida acuática se midieron parámetros en campo y laboratorio, de los cuales los valores no rebasan los límites permisibles en el caso del pH, temperatura, según lo indicado en las guías internacionales.

Mientras que la DBO<sub>5</sub> es aceptable (entre 6 y 30 mg/L) de acuerdo con lo establecido por CONAGUA (2014) y la DQO es aceptable en el canal de Ampampilco (entre 20 y 40 mg/L) excepto AMP4 con 109.25 que sería contaminante



(entre 40 y 200 mg/L) que es una zona cercana a Apatlaco; mientras que en la zona de Apatlaco (APA1, 71.75 mg/L) presenta una contaminación (entre 40 y 200 mg/L), esto puede ser debido a que en esta zona hay descargas de aguas residuales domésticas, debido a los asentamientos urbanos que hay en esa zona, en cambio en Ampampilco no existen estos, resaltando que en AMP4 es la parte que conecta con Apatlaco y el valor más alto puede deberse a que la zona es habitable en los alrededores.

En cuanto al oxígeno disuelto (OD) y los sólidos disueltos totales (TDS), ambos parámetros presentan valores inaceptables en los dos canales, ya que están por debajo de los límites establecidos por la CCME (5 mg/L) y la EPA (4-6.5 mg/L) para el OD, mientras que para los TDS la EPA recomienda un límite máximo de 250 mg/L; esto puede afectar a la biota acuática ya que en el caso del OD los valores obtenidos están por debajo de lo indicado y los TDS exceden el límite máximo permitido por las regulaciones internacionales, lo que conlleva a que los organismos acuáticos tengan dificultad para vivir adecuadamente en dicha zona.

#### **4.2 Evaluación de la concentración mediante el Pesticide in Water Calculator (PWC)**

Como consecuencia de la identificación de los plaguicidas organoclorados en el suelo como lo son aldrín, dieldrín y endosulfán, se realizó una estimación de las concentraciones esperadas en el agua superficial a partir de un programa desarrollado por la EPA.

El PWC (por sus siglas en inglés) es un software que ayuda a obtener valores de concentraciones de plaguicidas en cuerpos de agua superficial y subterránea, trabaja mediante soluciones numéricas aplicando el método de diferencias finitas, dicho método está fundamentado en la solución de la ecuación de transferencia de masa, ya que está basado en dos modelos el PRZM5 el cual se ocupa para estimar concentraciones de plaguicidas en la zona no saturada del suelo, con lo cual se logra la carga del plaguicida y en el VVWM, se calcula la exposición de plaguicidas

en cuerpos de agua superficial a partir de la aplicación de estos en campos de cultivo (Xie, Y. 2016; USEPA, 2016).

Dicho software contempla varias pestañas, como propiedades del plaguicida, aplicación del plaguicida, tipo de cultivo, características y meteorología del sitio de estudio, parámetros de escorrentía de acuerdo con las características del sitio y características del cuerpo de agua, todas estas ventanas están contempladas para realizar la simulación del plaguicida en el sitio de estudio.

A partir de ello se efectuó la modelación de estos compuestos mediante el PWC para poder estimar las concentraciones teóricas que debido a la aplicación en el suelo el cuerpo de agua debería concentrar de acuerdo con los parámetros que requiere este software, todo esto basado en la recopilación de información del plaguicida, de manuales que establecen los parámetros e información del sitio de estudio de otros documentos, así como de información mencionada por pobladores en la visita de muestreo y exploratoria.

#### **4.2.2. Plaguicidas**

Inicialmente se requieren algunas propiedades del plaguicida como  $K_{oc}$  o  $K_d$ , peso molecular, presión de vapor, solubilidad, energía de vaporización y la constante de Henry; además de estas propiedades es necesario colocar los tiempos de degradación en las diversas matrices ambientales como lo son agua, suelo, aire, sedimento, así como el tiempo de vida media por acción foliar; esto se realiza para el plaguicida y sus metabolitos en caso de tener la información, ya que muchas veces las sustancias que se generan son más tóxicas que el agente principal. Dichos valores se enuncian en las tablas 4.4 y 4.5:

**Tabla 4.4. Propiedades de endosulfán**

Propiedad	Endosulfán	Sulfato de endosulfán
<b>K<sub>oc</sub> (mL/g)</b>	11500	5190
<b>Peso molecular (g/mol)</b>	406.93	422.95
<b>Presión de vapor 20° C (torr)</b>	6.23	1x10 <sup>-11</sup>
<b>Solubilidad 25 °C (mg/L)</b>	0.53	0.117
<b>Calor de vaporización (J/mol)</b>	37,000	86,390
<b>Densidad a 20 °C (mg/mL)</b>	1.745	1.94
<b>Volumen molar (g/ cm<sup>3</sup>)</b>	233.2	218.0
<b>Coeficiente de difusión (cm<sup>2</sup>/día)</b>	4.78	5.4
<b>Vida media de degradación en agua a 20 °C (día)</b>	23-25	-
<b>Vida media de degradación en suelo a 20 °C (día)</b>	50	123 a 391
<b>Vida media de degradación foliar (día)</b>	3.7	4
<b>Vida media en zona bentónica a 20 °C(día)</b>	120	-
<b>Hidrólisis en agua a ph 7 (día)</b>	11 a 19	184

Fuente: (Betancur, et al, 2015; University of Hertfordshire, 2019; Céondo GmbH, 2019 y ATSDR, 2015)

**Tabla 4.5. Propiedades aldrín y dieldrín**

Propiedad	Aldrín	Dieldrín
<b>K<sub>oc</sub> (mL/g)</b>	4.7x106	4.7x105
<b>Peso molecular (g/mol)</b>	364.91	380.91
<b>Presión de vapor 20° C (torr)</b>	7.5x10 <sup>-5</sup>	3.1x10 <sup>-11</sup>
<b>Solubilidad 20 °C (mg/L)</b>	0.011	0.110
<b>Calor de vaporización (J/mol)</b>	65,800	69,270
<b>Densidad a 20 °C (mg/mL)</b>	1.6	1.75
<b>Volumen molar (g/ cm<sup>3</sup>)</b>	228.1	217.7
<b>Coeficiente de difusión (cm<sup>2</sup>/día)</b>	5.0	5.5
<b>Vida media de degradación en agua a 25 °C (día)</b>	710	710
<b>Vida media de degradación en suelo a 25 °C (día)</b>	710	710
<b>Vida media de degradación foliar (día)</b>	1.7	6.8
<b>Vida media en zona bentónica a 25 °C(día)</b>	2,300	2,300
<b>Hidrólisis en agua a ph 7 (día)</b>	760	-

Fuente: (ATSDR, 2002; O'Sullivan & Megson, 2014; University of Hertfordshire, 2019; Céondo GmbH, 2019)



En este apartado se realizó el cálculo conforme a lo establecido por Rothman et al ,2015 para el coeficiente de difusión en aire para cada plaguicida y su metabolito el cual se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$D_{air} = \frac{0.001 T^{1.75} M_r^{\frac{1}{2}}}{P \left( V_A^{\frac{1}{3}} + V_B^{\frac{1}{3}} \right)^2} \times \frac{3600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{24 \text{ hora}}{1 \text{ día}}$$

$$M_r = \frac{(M_A + M_B)}{M_A M_B}$$

En donde,

$D_{air}$  es el coeficiente de difusión de aire [ $\text{cm}^2/\text{día}$ ],

T es la temperatura 298 K,

$M_A$  es el peso molecular del aire aproximadamente 29 g/mol,

$M_B$  es el peso molecular del plaguicida [g/mol],

P es la presión [atm],

$V_A$  es el volumen molar del aire aproximadamente 20.1  $\text{cm}^3/\text{mol}$ ,

$V_B$  es el volumen molar del plaguicida [ $\text{cm}^3/\text{mol}$ ].

Estos datos son ingresados en la interfaz que se muestra en la Figura 7.1 del Anexo B.

#### 4.2.3. Aplicación de plaguicida

Posteriormente se agrega la información de la aplicación del plaguicida en la zona de cultivo, para los cuales se consideró lo siguiente:

- Cantidad de plaguicida suministrado al cultivo 1.7 (kg/ha) para endosulfán y 3.4 kg para aldrín, de acuerdo a la máxima cantidad que está permitido como se reporta en el Convenio de Rotterdam, 2011 y ATSDR, 2002 respectivamente.
- De acuerdo con la información de la gente del sitio, la temporada de siembra de maíz se realiza entre abril y octubre; por lo cual se propone que la fecha

estimada de aplicación fue en mayo por lo que los días aproximados transcurridos a la fecha del muestreo (23/09/2018) es de 180 días.

- Además, se consideró la aplicación de tipo superficial, conforme a este tipo de aplicación USEPA, 2016 menciona que es de 0.99, mientras que la fracción de carga (drift/T) es de 0.064 para agua potable y de 0.01 para riesgo ecológico.
- También se contempló que la aplicación se realiza cada año durante los 10 años que se contemplan del archivo meteorológico.

Esta información se agrega en la pestaña de Aplicación, la cual se puede observar en la Figura 7.2 del Anexo B.

#### 4.2.4. Cultivo/Tipo de suelo

En esta sección es donde se agrega el archivo meteorológico, el cual consiste en una recopilación de información de los últimos años de la zona de estudio o como en este caso se realizó, lo más próxima a ella; es por ello que para hacer el archivo se utilizaron los datos de la estación de monitoreo de la Escuela Nacional Preparatoria N° 1 “Gabino Barreda” de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada en Av. de la Noria y calle de prolongación de Aldama s/n Xochimilco, Santa María Tepepan; la cual pertenece a la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (México), para realizar dicho archivo se obtuvieron datos de precipitación pluvial (cm/día), temperatura (°C), velocidad del viento (cm/s), radiación solar (langley o cal/cm<sup>2</sup>), también se realizó el cálculo del factor de evaporación a partir de la ecuación de Meyer (1944):

$$E = C(e_a - e) \left( 1 + \frac{V}{16} \right)$$

En donde,

E es el factor de evaporación [mm/día]

C es 0.5 dicho factor depende de la masa de agua,

$e_a$  la presión de vapor del agua [mm Hg],

e es la presión de vapor del aire [mm Hg],

V es la velocidad del viento [cm/h].





Para el cálculo de la presión de vapor del aire se realizó la variación de la temperatura para cada día, considerando la humedad relativa la cual se obtuvo de la misma estación meteorológica para cada hora, mientras que la temperatura del agua se mantuvo constante a una temperatura de 15 °C.

De esta forma se obtuvo la información y se acomodó para un tiempo de 10 años, de enero de 2009 a octubre de 2018, el archivo se acomodó conforme a los requerimientos del programa, el cual es un formato estilo fortran: 1X, 3I2, 5F10.0 y se acomodaron conforme al siguiente orden:

MM, MD, MY, PRECIP, PEVP, TEMP, WIND SOLRAD,

Donde,

MM= mes meteorológico,  
MD= día meteorológico,  
MY= año meteorológico,  
PRECIP= precipitación [cm/día],  
PEVP= factor de evaporación [cm/día],  
TEMP= temperatura [°C],  
WIND= viento [cm/s],  
SOLRAD= radiación solar [Langley]

El formato del archivo meteorológico (.dvp) se puede consultar en la Figura 7.3 del Anexo B.

También, en este apartado se contemplan factores del crecimiento del cultivo tales como los días de emergencia, madurez y cosecha; así como la profundidad de la raíz, la cobertura, altura y retención de agua del cultivo; en el cual se agregan datos de la época de cultivo, con la información que la gente mencionó acerca de la fecha del cultivo de maíz se estableció que el 15/04 de cada año se realiza el cultivo de maíz, ya que éste es sembrado en el mes de abril y según a lo establecido con (Nafziger, 2009; DuPont, 2015; Ciampitti, Elmore, & Lauer, 2016), el tiempo de maduración tarda aproximadamente 4 meses por lo cual se establece que el 15/08 de cada año es la época de maduración, mientras que la cosecha se establece que sea el siguiente mes conforme a lo indicado por (DuPont, 2015). Además, se deben

agregar el tamaño de raíz (60 cm), la cobertura de la hierba (350 %), su altura (300 cm) y la retención (.15 cm); estos datos fueron obtenidos de los autores citados anteriormente, además de (Viarural AGRO Y CONSTRUCCIÓN, 2019).

Por otra parte, se alimentaron factores hidrológicos como el factor de evaporación, factor de fusión de nieve, mínima profundidad de evaporación, los cuales son recomendados por el manual (USEPA, 2016).

Además, se contemplan los datos de riego, si existe exceso de riego, la merma permitida en el agua disponible, máxima tasa de agua suministrada y la profundidad del nivel piezométrico.

Finalmente, en esta sección se agregan los perfiles de suelo del sitio de estudio los cuáles son los reportados en la tabla 4.6:

**Tabla 4.6. Características del perfil de suelo**

Horizonte	Profundidad (cm)	Clasificación	Cap. Máx.	Cap. Mín.	% arena	% arcilla	OC (%)	Densidad [g cm <sup>-3</sup> ]
<b>A1</b>	0-10	Migajón	0.320	0.175	30.4	25.4	8.1	0.29
<b>A1</b>	11-50	Migajón Arcillosa	0.380	0.210	22.8	37.4	5.9	0.69
<b>A2</b>	50-110	Migajón Arenosa	0.375	0.220	24.8	35.4	7.4	0.51
<b>A3</b>	110-120	Migajón Limoso	0.360	0.215	26.8	35.4	14.4	0.43

Fuente: (Ramos et al, 2001; USEPA, 2005; Ramos et al, 2011; Ikkonen, et al, 2012; Guevara et al, 2015 y FAO, 2019).

Otro parámetro importante que considera este apartado es la temperatura límite inferior y el albedo de la superficie el cual el manual USEPA, 2014 recomienda que sea 0.2.

Esta sección del paquete puede ser consultado en el Anexo B, Figura 7.4.



#### 4.2.5. Escorrentía

En el siguiente apartado del PWC, se realizó el cálculo de la escorrentía del sitio de estudio identificando los días que contribuían con un efecto visible, para esto se realizó el cálculo del flujo a partir de la precipitación.

$$Q = \begin{cases} 0, & P \leq 0.2S \\ \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, & P > 0.2S \end{cases}$$

Donde,

Q es la escorrentía (cm),

P es la precipitación (cm),

S es el potencial máximo de retención (cm).

Para obtener el potencial máximo se hizo el cálculo a partir del número de curva:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

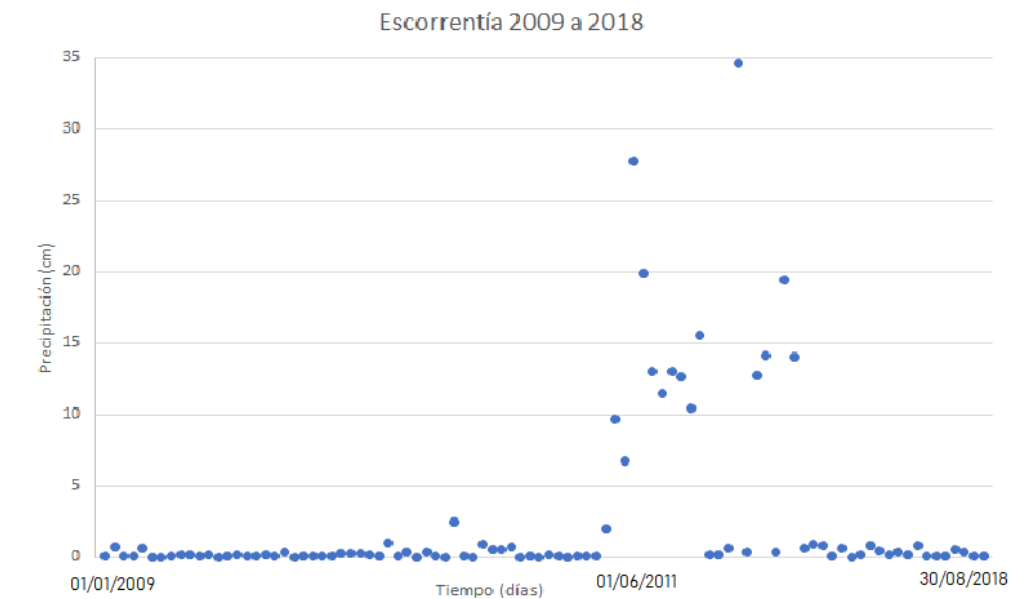
Donde,

CN es el número de curva, para el caso del sitio de estudio es de 78 de acuerdo con (Gaspari, et al., 2007).

De esta forma se identificaron los días con mayor escorrentía durante los años simulados los cuales están reportados en la tabla 4.7 y se pueden observar en la figura 4.1:

**Tabla 4.7. Escorrentías importantes**

Fecha (mm/dd/aa)	Escorrentía (cm)
06/28/2012	2.42077865
06/06/2011	1.96253548
06/07/2011	9.72029697
06/08/2011	6.73517338
06/09/2011	27.7116044
06/10/2011	19.90449
06/11/2011	13.0384032
06/12/2011	11.4114119
06/13/2011	13.0476043
06/14/2011	12.6708848
06/15/2011	10.3821684
06/16/2011	15.5246978
08/23/2011	34.5565551
08/25/2011	12.6984125
08/26/2011	14.1282913
10/06/2011	19.3909075
10/07/2011	14.0170873



**Figura 4.1 Datos de escorrentía**

Fuente: (Elaboración propia)

Además, se determinan los valores de USLE C, USLE K, USLE LS, USLE P e IREG según a lo recomendado por USEPA, 2005. Dichos valores y todo lo anterior mencionado se pueden consultar en el Anexo B Figura 7.5.

#### **4.2.6. Características del cuerpo de agua**

En la ventana para caracterizar a la cuenca se determinó el tipo de simulación que se requería definiendo el tipo de agua superficial en el que se va a simular, se determinó que los canales tienen un volumen constante y aunque tienen un flujo pequeño se consideró nulo, al ser este un sistema léntico. Además, se definió la tasa de plaguicida (0.5) que entra al cuerpo de agua por erosión y es distribuido entre la columna de agua y la capa bentónica de acuerdo con lo recomendado por USEPA, 2005.

También se describen las dimensiones del cuerpo de agua y de la cuenca, de los cuales el área de cultivo se contempla 400 m<sup>2</sup> debido a lo observado en las visitas de exploración y del día de muestreo, la superficie del cuerpo de agua es de 2400 m<sup>2</sup> considerando los canales como un cuerpo aislado, con una profundidad de 1 m a 1.3 m como máxima, y una longitud hidráulica de 100 m con respecto a la comunicación del siguiente canal. Además, el volumen del sitio es constante ya que en época de lluvias tiene un aumento máximo de 10 cm de acuerdo con lo comentado con la gente del sitio.

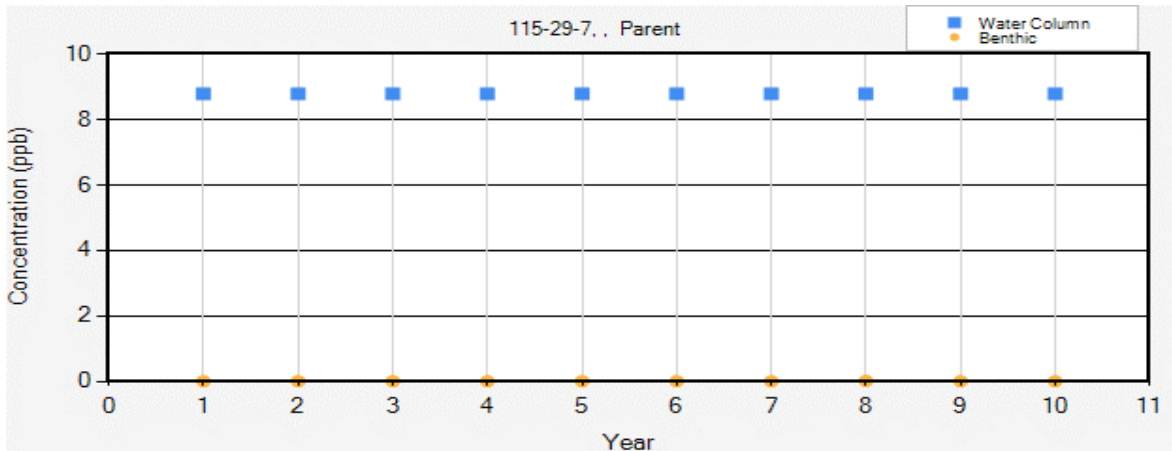
Finalmente se requieren los siguientes parámetros de la columna de agua que se muestran en la tabla 4.8:

**Tabla 4.8. Información de cuerpo de agua**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Fotólisis</b>	1.19
<b>Concentración de sólidos suspendidos (mg/L)</b>	18.6
<b>Concentración de clorofila (mg/L)</b>	0.8
<b>Fracción de Carbón Orgánico (foc)</b>	0.6
<b>Carbón Orgánico Disuelto (mg/L)</b>	10
<b>Concentración de biomasa (mg7L)</b>	15.65

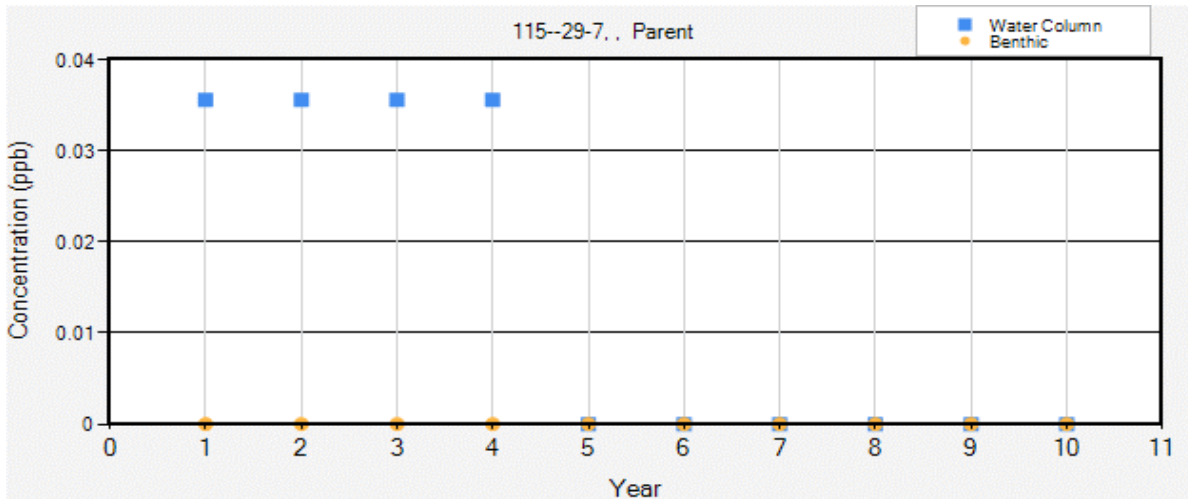
Estos valores también fueron agregados al apartado de la zona bentónica y algunos otros fueron obtenidos conforme a lo recomendado por Arcos, et al 2004 USEPA, 2005 y Castellanos et al, 2015. En la figura 7.6 del Anexo B se puede observar este apartado.

#### 4.2.7. Resultados y su evaluación



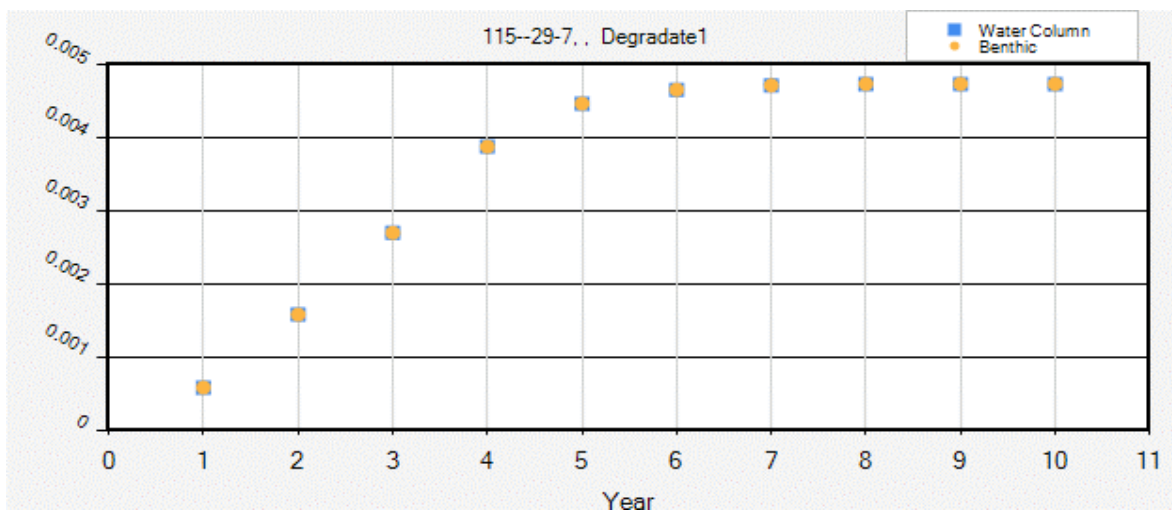
**Figura 4.2. Concentración de endosulfán mediante el PWC.**

En la figura 4.2 se puede observar los datos reportados por el PWC a partir de los cálculos para determinar la concentración de endosulfán y esta es de 8.79  $\mu\text{g/L}$  en la columna de agua, mientras que en la zona bentónica no se reporta concentración alguna. Este cálculo se realizó para los años de enero 2009 a octubre 2018, en donde el año 1 corresponde al 2009.



**Figura 4.3. Concentración de aldrín mediante el PWC.**

En la figura 4.3 se puede apreciar lo reportado por PWC para la concentración de aldrín, dicha concentración es de 0.036  $\mu\text{g/L}$  en la columna de agua, en este caso solamente se contempló la aplicación hasta 2012, ya que es el último año que se debió aplicar de acuerdo con SEMARNAT. Posteriormente en los siguientes años no se ve alguna influencia de este plaguicida en el cuerpo de agua. De igual forma que con el endosulfán los años simulados fueron de 2009 a 2018.



**Figura 4.4. Concentración de dieldrín mediante el PWC.**

Por último, en la figura 4.4. se observa la concentración de dieldrín, considerada que el mismo tiempo de aplicación del aldrín, es decir hasta 2012, pero en este caso se puede apreciar que la concentración de dicho plaguicida que es de 0.0047  $\mu\text{g/L}$  se mantiene y no se degrada.

Los valores obtenidos de las simulaciones son 8.79  $\mu\text{g/L}$  para el endosulfán, 0.036  $\mu\text{g/L}$  para aldrín y 0.0047  $\mu\text{g/L}$  para dieldrín, considerando que estos últimos ya no se utilizan debido a lo restringido por la CICOPRAFEST y considerando que se dejaron de aplicar en 2012 en todo el país como lo indica Bojorquez 2017.

Al realizar una comparación entre los datos obtenidos de la simulación y los datos obtenidos de campo en el cuerpo de agua se puede decir que existen o existieron otros suelos que siguen contaminados, ya que los valores calculados proporcionan aproximaciones muy por debajo de lo obtenido en campo; cabe aclarar que, aunque lo obtenido en las simulaciones son aproximaciones; los efectos de las variables que más afectan son la tasa de aplicación del plaguicida, las propiedades del suelo, así como los datos hidrometeorológicos.

En la zona del canal de Ampampilco en el cual se ha identificado endosulfán (APA2) en dicho canal, y se logró tomar una muestra de suelo (MS4) cercana a este sitio la concentración es de 55.02  $\mu\text{g/L}$ ; dicha cantidad puede deberse a que en más de una de las zonas de cultivo y/o además la cantidad aplicada está por encima de los estándares permitidos.

Mientras que en el caso de aldrín y dieldrín cercano al suelo (MS1) donde se hallaron estos compuestos no se detectaron en el cuerpo de agua, esto puede ser debido a que las cantidades utilizadas en el área de cultivo fueron muy bajas y solamente se retuvieron en el suelo; por otra parte, en el área del cuerpo de agua donde se detectó dieldrín (AMP2) con 48.42  $\mu\text{g/L}$  no se logró obtener muestra de suelo; y para el punto muestreado donde se detectaron (APA1): aldrín (9.54  $\mu\text{g/L}$ ), endosulfán I (29.91  $\mu\text{g/L}$ ) y endosulfán II (63.97  $\mu\text{g/L}$ ) tampoco se logró obtener muestra de suelo.





Los valores detectados en el cuerpo de agua presentan una mayor concentración de los valores calculados con el PWC como se observa en la tabla 4.9:

**Tabla 4.9 Comparación plaguicidas detectados y PWC**

Muestra	Plaguicida detectado	Cantidad detectada ( $\mu\text{g/L}$ )	Valor calculado ( $\mu\text{g/L}$ )
APA2	Endosulfán II	55.02	8.79
AMP2	Dieldrín	48.42	0.0047
APA1	Aldrín	9.54	0.036
	Endosulfán I	29.91	8.79
	Endosulfán II	63.97	8.79

Como se puede observar estos valores son una aproximación y aunque hay datos que se desconocen y se realizó la variación de éstos para conocer el impacto, no se observaron cambios significativos en los valores calculados, es por ello que se definieron de acuerdo a lo recomendado por manuales o como lo indicaba el programa PWC.

#### **4.3 Análisis del riesgo por Análisis Espacial y Asistencia en la toma de Decisiones (SADA)**

Conforme a las concentraciones obtenidas en laboratorio, se realizó el análisis del riesgo a la salud para cada punto de muestreo en donde se detectó la presencia de los plaguicidas: aldrín, dieldrín, endosulfán I y II encontrados en aguas, dicho análisis se realizó con el modelo computacional SADA, en el cual se logró alimentar los datos a partir de un archivo de Excel e importar los datos a dicho programa, así como el sitio de estudio a partir de las coordenadas.

Para la determinación de la exposición en la zona de estudio se consideran dos aspectos que pueden ser de riesgo para la población que habita o transita en los canales de Apatlaco y Ampampilco, estos son la contaminación por contacto dérmico y por ingesta de peces, el uso de agua es de tipo recreacional y los parámetros establecidos son de acuerdo con lo reportado por la USEPA, dichos parámetros se utilizaron, ya que no se cuenta con la información suficiente del sitio

de estudio, pero los datos reportados por SADA son muy conservadores y ayudan para elaborar el análisis de riesgo de la zona de estudio, ya que se apoya de bases de datos como IRIS y HEAST los cuales se actualizan constantemente y aunque no son datos del sitio ayudan a tener un cálculo aproximado debido a que son valores establecidos por la EPA, estos valores se reportan en la tabla 4.10:

**Tabla 4.10. Parámetros de exposición**

<b>Parámetro</b>	<b>Tipo recreacional</b>	<b>Unidad</b>
<b>Frecuencia de exposición</b>	7	día/año
<b>Duración de la exposición</b>	30	año
<b>Superficie expuesta (adulto)</b>	1.94	m <sup>2</sup> /día
<b>Tasa de inhalación</b>	20	mg/día
<b>Tasa de ingestión de agua</b>	0.05	L/día
<b>Fracción ingerida</b>	1	-
<b>Tiempo de exposición</b>	2.6	h/día
<b>Frecuencia de exposición de los peces</b>	350	día/año
<b>Tasa de ingestión de peces</b>	0.054	kg/día
<b>Peso corporal</b>	70	kg
<b>Tiempo de vida media</b>	70	año
<b>Frecuencia de exposición</b>	45	pez/año

Fuente: (University of Tennessee, 1996)

Además, los parámetros físicos de contaminación para cada uno de los compuestos encontrados en el sitio de estudio son los siguientes, reportados en las tablas 4.11, 4.12 y 4.13:

**Tabla 4.11. Parámetros físicos de contaminación**

Parámetro	Aldrín	Dieldrín	Endosulfán	Unidad
<b>Volatilización suelo-aire (VF)</b>	2,770,000	1,820,000	1,120,000	m <sup>3</sup> /kg
<b>Factor de emisión de partícula suelo-aire (PEF)</b>	1,320,000,000	1,320,000,000	1,320,000,000	m <sup>3</sup> /kg
<b>Factor de absorción dérmico (ABS)</b>	0.01	0.01	0.01	-
<b>Constante de permeabilidad (KP)</b>	0.467	0.0445	0.00329	cm/h
<b>Factor de bioacumulación en pez (BTF pez)</b>	20,200	2,010	178	L/kg

Fuente: (University of Tennessee, 1996)

**Tabla 4.12. Toxicidad no carcinógena de contaminantes en agua**

Parámetro	Aldrín	Dieldrín	Endosulfán	Unidad
<b>Dosis de referencia oral</b>	0.00003	0.00005	0.006	mg/kg*día
<b>Dosis de referencia oral subcrónica</b>	0.00003	0.00005	0.006	mg/kg*día
<b>Dosis de referencia dérmica</b>	0.000015	0.000025	0.003	mg/kg*día
<b>Dosis de referencia dérmica subcrónica</b>	0.000015	0.000025	0.003	mg/kg*día

Fuente: (University of Tennessee, 1996)

Como se puede observar en la tabla anterior las dosis de referencia para cada compuesto ya sea oral o dérmica para aldrín y dieldrín son muy bajas en

comparación con el endosulfán, lo cual indica que con concentraciones pequeñas podrían causar algún efecto adverso a la salud.

**Tabla 4.13 Toxicidad carcinógena de contaminantes en agua**

Parámetro	Aldrín	Dieldrín	Endosulfán	Unidad
Factor oral para contraer cáncer	17	16	-	1/(mg/kg*día)
Factor dérmico para contraer cáncer	34	32	-	1/(mg/kg*día)

Fuente: (University of Tennessee, 1996)

Los factores de potencia que se reportan para aldrín y dieldrín son elevados en comparación con otras sustancias como arsénico (1.75), BPC (7.7) y DDT (0.34); ambos presentan un riesgo. Los valores de factor dérmico y dosis de referencia dérmica se basan en un ajuste a partir del factor oral de acuerdo a lo reportado por “The Risk Assessment Information System” (Sistema de Información de Evaluación de Riesgo, RAIS por sus siglas en inglés) en 2019, que está basado en el Manual de Evaluación de Salud Humana de la USEPA, 1989.

Cabe mencionar que el riesgo por contraer cáncer se considera de  $1 \times 10^{-6}$  para el caso de los carcinógenos. Las ecuaciones empleadas son las reportadas en el apartado 2.4.2 y a continuación se describen cada uno de sus factores con sus correspondientes tablas 4.14 y 4.15, donde se indica el significado de cada parámetro:

$$Ec. (2.1) \quad Contacto_{der} = \frac{C_{wn} \times P_c \times SA \times CF_6 \times EF \times ED \times ET}{CF_2 \times BW \times AT}$$

**Tabla 4.14. Parámetros por contacto dérmico en agua de tipo recreacional**

Símbolo	Parámetro
<b>C<sub>wn</sub></b>	Concentración de la sustancia (mg/L)
<b>P<sub>c</sub></b>	Constante de permeabilidad en piel (cm/h)
<b>SA</b>	Superficie de piel expuesta (m <sup>2</sup> )
<b>CF<sub>6</sub></b>	Factor de conversión (L m) / (cm m <sup>3</sup> )
<b>EF</b>	Frecuencia de exposición (evento/año)
<b>ED</b>	Duración de exposición (año)
<b>ET</b>	Tiempo de exposición (h/evento)
<b>CF<sub>2</sub></b>	Factor de conversión (día/año)
<b>BW</b>	Peso corporal (kg)
<b>AT</b>	Tiempo de vida media (año)

Fuente: (University of Tennessee, 1996)

$$Ec. (2.2) \quad Consumo_{peces} = \frac{C_{wn} \times B_p \times IR_p \times FI \times ED \times EF}{CF_2 \times BW \times AT}$$

**Tabla 4.15. Parámetros por ingestión de peces en agua de tipo recreacional**

Símbolo	Parámetro
<b>C<sub>wn</sub></b>	Concentración de la sustancia (mg/L)
<b>B<sub>p</sub></b>	Coeficiente de transferencia en pez (L/kg)
<b>IR<sub>p</sub></b>	Tasa de ingestión (kg/pez)
<b>FI</b>	Dieta fraccionada
<b>ED</b>	Duración de la exposición (año)
<b>EF</b>	Frecuencia de exposición (pez/año)
<b>CF<sub>2</sub></b>	Factor de conversión (día/año)
<b>BW</b>	Peso corporal (kg)
<b>AT</b>	Tiempo de vida media (año)

Fuente: (University of Tennessee, 1996)

El programa indica si existe algún riesgo o peligro conforme a las concentraciones detectadas en el agua en cada punto, por lo cual se reporta los resultados obtenidos en la tabla 4.16:

**Tabla 4.16 Determinación de peligro o riesgo por SADA**

Nombre	No. CAS	Conc. [mg/L]	Dérmico		Ingestión por peces	
			Peligro (adulto)	Riesgo	Peligro (adulto)	Riesgo
<b>Aldrín</b>	309002	0.00954	Si	Si	Si	Si
<b>Endosulfán</b>	115297	0.06397	No	-	Si	-
<b>Dieldrín</b>	60571	0.04802	Si	Si	Si	Si

Fuente: (University of Tennessee, 1996)

De acuerdo con lo obtenido en el anterior apartado, se hicieron los cálculos para cuantificar el riesgo en cada caso identificado y se reporta en la tabla 4.17:

**Tabla 4.17 Determinación cuantitativa del riesgo para no carcinógeno y carcinógeno**

Nombre	No. CAS	Conc. [mg/L]	Dérmico		Ingestión por peces	
			Peligro (adulto)	Riesgo	Peligro (adulto)	Riesgo
<b>Aldrín</b>	309002	0.00954	Si	9.00E-04	Si	6.50E-01
<b>Endosulfan</b>	115297	0.06397	No	-	Si	-
<b>Dieldrín</b>	60571	0.04802	Si	4.00E-04	Si	3.90E-01

Fuente: (University of Tennessee, 1996)

De acuerdo con lo reportado mediante el SADA, se puede decir que existe peligro en el caso de las 3 sustancias en su efecto no carcinógeno por ingesta de peces, en cuanto al riesgo, existe para los casos de aldrín y dieldrín en ambas rutas de exposición, en el caso de endosulfán no representa riesgo en ninguna vía de exposición. Esto quiere decir que sí puede existir un efecto adverso a la salud por el consumo de peces y contacto para los tres plaguicidas; y causa de cáncer por contacto dérmico e ingesta de peces con aldrín y dieldrín.



## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### CONCLUSIONES

- En resumen, se logró la determinación de la calidad del agua de los canales de Apatlaco y Ampampilco, de acuerdo con los datos obtenidos en campo y laboratorio se obtuvieron parámetros que están por debajo de los límites establecidos en las guías internacionales como el OD y en algunos casos exceden los valores establecidos en las guías como el caso de la DQO, por lo cual se puede decir que la biota acuática que habita estos canales puede estar en peligro, ya que no tienen las condiciones adecuadas para desarrollarse en un ambiente óptimo.
- Además, se consiguió la identificación de plaguicidas organoclorados que de acuerdo con el Convenio de Estocolmo son contaminantes orgánicos persistentes, por lo cual el sitio de estudio sería un peligro para la población y la vida acuática que habita y transita los canales de Apatlaco y Ampampilco; cabe señalar que en comparación con otros autores como Hernández en 2005 y Borja en 2017 que realizaron la detección de plaguicidas, en este trabajo se elaboró un análisis del posible efecto de estas sustancias mediante programas computacionales.
- Posteriormente, se estimaron las concentraciones de los plaguicidas: endosulfán, aldrín y dieldrín, mediante el programa PWC; dichas estimaciones se compararon con los datos obtenidos en campo y las regulaciones internacionales, obteniendo que las valoraciones de las concentraciones con PWC se encuentran por debajo para ambos casos (campo y regulaciones internacionales); esto podría atribuirse a que existen varias zonas de cultivo a los alrededores, en los cuales se aplicaron y continúan aplicando los plaguicidas; además los cálculos solamente contemplan la época de cultivo de maíz, no consideran el uso de estos durante otras épocas del año y en diferentes tipos de cultivo.



- Finalmente se realizó el análisis del riesgo con el programa SADA, estableciendo el contacto dérmico y la ingesta de peces como las principales rutas de exposición y ayudado de sus bases de datos, se obtuvo que el riesgo a la salud está presente para la población que está en contacto con el cuerpo de agua e incluso consumiendo los peces como tilapias, carpas, mojarras y charales que se encuentran en la zona de estudio, el uso de este programa es de gran ayuda, debido a que sus bases de datos facilitan y acortan el tiempo para realizar un análisis de riesgo, incluso teniendo más datos en campo indicaría las zonas de riesgo o peligro, ya que también es una herramienta geoespacial. Este programa es de fácil acceso y entendimiento, con una amplia cantidad de aplicaciones, pero en el caso de este estudio solamente se utilizó la parte de riesgo a la salud.

## RECOMENDACIONES

- Para tener mayor precisión del riesgo, es necesario realizar un monitoreo y seguimiento constante no solamente a los canales de Apatlaco y Ampamilco, sino a toda la zona lacustre de Xochimilco y a partir de una investigación más profunda realizando determinaciones de plaguicidas en peces, en chinampas de otros tipos de cultivo, en canales donde haya cultivos y en el sedimento para que de esta forma se obtengan valores de toda la zona.
- Además, realizar una investigación con mayor énfasis en la comunidad cercana para tener conocimiento de los plaguicidas que utilizan o utilizaron, así como la frecuencia del consumo de peces y así evaluar el riesgo con una mayor precisión; incluso considerar el estudio del suelo para obtener un conocimiento general de la zona lacustre de Xochimilco, ya que además de detectar dichos plaguicidas es necesario saber los efectos que están causando en la población y en la biota acuática de este lugar, de esta forma podría utilizarse otras herramientas que brindan los programas PWC y SADA, como lo son el cálculo para el suelo y sedimentos en el caso del PWC y el análisis geoespacial, análisis estadístico y el riesgo ecológico para el SADA.





## REFERENCIAS

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (APHA, AWWA, WEF). (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Baltimore.
- Arcos, R., González, J., Ramos, L., & Rosas, F. (2004). Evaluación del componente orgánico como un factor indicativo del estado trófico del lago de Xochimilco. Ciudad de México, Iztapalapa, México.
- Arellano, O., & Rendón, J. (2016). *Las huellas de los plaguicidas en México*. GREENPEACE MEXICO A.C.
- ATSDR. (Septiembre de 2002). *Toxicological profile for aldrin/dieldrin*. Atlanta: U.S. Department of health and human services.
- ATSDR. (2015). *Toxicological Profile for Endosulfan*. Atlanta: ATSDR.
- Benítez, R. (2012). *Plaguicidas y efectos sobre la salud humana: un estado del arte*.
- Betancur, L., Ocampo, R., & Ríos, A. (2015). La problemática del endosulfán: aspectos químicos, analíticos y ambientales. *Luna Azul*, 293-313.
- Bojórquez, L. (2017). *Contaminación química y biológica en la zona lacustre de Xochimilco*. CDMX: UAM.
- Borja, A. (2017). *Influencia de la materia orgánica en la extracción en fase sólida de la atrazina y dos de sus metabolitos de degradación en muestras acuosas: caso de estudio canales de Xochimilco, Cd. Mx., México*. Ciudad de México: UNAM.
- Briz, V. (2011). *Efectos de los pesticidas organoclorados sobre la neurotransmisión glutamatérgica en cultivos primarios neuronales. Interacciones con el sistema neuroendocrino*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Buser, H., Müller, M., Buerge, I., & Poiger, T. (2009). Composition of aldrin, dieldrin and photodieldrin enantiomers in technical and environmental samples. *Journal of agricultural and food chemistry*, 7445-7452.
- Castellanos, M., Zamora, M., Benitez, M., Garza, G., & Contreras, R. (2015). Abundancia y biomasa de la comunidad de rotíferos y su relación con parámetros ambientales en tres estaciones del Canal Cuemanco, Xochimilco. *ResearchGate*, 27-56.



- CCME. (2008). *Canadian Water Quality Guidelines*. Ottawa: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CCME. (2010). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Endosulfan*. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Centro Ecoturístico Olintlalli. (28 de Noviembre de 2018). *OLINTLALLI*. Obtenido de <https://www.olintlalli.com.mx/>
- Céondo GmbH. (27 de Marzo de 2019). *Cheméo*. Obtenido de <https://www.chemeo.com/cid/39-717-3/Endosulfan%20sulfate>
- Ciampitti, I., Elmore, R., & Lauer, J. (Octubre de 2016). Crecimiento y Desarrollo del Maíz. EU.
- Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas. (2004). Catálogo Oficial de Plaguicidas.
- Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes. (2009). *Convenio de Estocolmo*. Ginebra.
- Comunidad Europea. (30 de Noviembre de 2013). *DIRECTIVA 2013/39/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO*. Diario Oficial de la Unión Europea. Obtenido de [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013L0039#ntr2-L\\_2013226EN.01001402-E0002](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013L0039#ntr2-L_2013226EN.01001402-E0002)
- CONAGUA. (2014). *Estadísticas del Agua en México*. Ciudad de México: SEMARNAT.
- Convenio de Rotterdam. (2011). *Endosulfán*. Rotterdam: UNEP-FAO.
- Danzos, H. (2007). *La agricultura orgánica como alternativa al uso plaguicidas: El caso de Huatusco. Veracruz*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.
- Dewan, P., Jain, V., Gupta, P., & Banerjee, B. (2013). Organochlorine pesticide residues in maternal blood, cord blood, placenta, and breastmilk and their relation to birth size. *Chemosphere*, 1704-1710.
- DuPont. (2015). Maíz. Crecimiento y desarrollo. EU.
- Echemendía, B. (2011). Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. *Revista cubana de higiene y epidemol*, 470-481.



- EPA. (1985). *Guidelines for deriving ambient aquatic life advisory concentrations*. Minnesota: EPA.
- FAO. (1997). *Depósito de documentos de la FAO*. Recuperado el Abril de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s06.htm>
- FAO. (15 de marzo de 2019). *FAO.org*. Obtenido de [http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s06.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm)
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por plaguicidas. *SciELO*, 155-171.
- Gaspari, F., Senisterra, G., & Marlats, R. (2007). Relación precipitación-escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso de suelo. Cuenca modal del sistema serrano de la Venta, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 21-28.
- Gil, K. M. (2015). *Identificación y cartografía del peligro por fenómenos de remoción en masa que afectan los poblados de la delegación Xochimilco*. Ciudad de México: UNAM.
- González, E., & Torres, C. I. (2014). La sustentabilidad agrícola de las chinampas en el valle de México: Caso Xochimilco. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 699-709.
- Guevara, B., Ortega, H., Ríos, R., Solano, E., & Vanegas, J. (2015). Morfología y geoquímica de los suelos de Xochimilco. *Terra Latinoamericana*, 263-273.
- HACH. (2000). *Manual de Análisis de Agua*. Colorado: HACH.
- Hernández, A., & Hansen, A. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 115-127.
- Hernández, C. (2017). *Biodegradación del herbicida atrazina por un consorcio microbiano aislado de los canales de Xochimilco*. Ciudad de México: UNAM.
- Hernández, F., Serrano, R., & Olea, N. (2002). Multiresidue determination of endosulfan and metabolic derivatives in human adipose tissue using automated liquid chromatographic cleanup and gas chromatographic analysis. *Journal of Analytical Toxicology*, 94-103.
- Hernández, I. (2005). *Pesticidas organoclorados en el agua de los canales de Xochimilco*. Ciudad de México: UNAM.



- Honeycutt, M., & Shirley, S. (2014). Aldrin. *Elsevier*, 66-68.
- Hooker, E. P., Fulcher, K. G., & Gibb, H. J. (2014). Aldrin and Dieldrin: A reevaluation of the cancer and noncancer dose-response assessments. *Risk Analysis*, 865-8778.
- Ikkonen, E., García, N., Stephan, E., Fuentes, E., Ibáñez, A., Martínez, A., & Krasilnikov, P. (2012). CO<sub>2</sub> production in the anthropogenic Chinampas soils in Mexico City. *Spanish Journal of Soil Science*, 62-73.
- INEGI. (Noviembre de 2018). *INEGI*. Obtenido de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia/>
- Instituto Nacional de Ecología. (2004). *Las sustancias tóxicas persistentes*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2005). *Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos, Xochimilco*.
- International Programme on Chemical Safety (IPCS). (1989). Environmental Health Criteria 91. Aldrin and Dieldrin. Geneva: Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018, de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc91.htm#PartNumber:1>
- International Programme on Chemical Safety (IPCS). (1995). *A review of selected persistent organic pollutants*. Guelph Ontario: Organización Mundial de la Salud.
- Ioana, B. (2018). *Evaluación de riesgos en suelos contaminados: Modelación matemática de la contaminación por metales pesados en una parcela del T. M. de Valencia*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Jhamtani, R., Shukla, S., Sivaperumal, P., Dahiya, M., & Agarwal, R. (2018). Impact of co-exposure of aldrin and titanium dioxide nanoparticles at biochemical and molecular levels in Zebrafish. *Elsevier*, 141-155.
- Jorgenson, L. (2001). Aldrin and dieldrin: a review of search on their production, environmental deposition and fate, bioaccumulation, toxicology and epidemiology in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 113-139.
- Kamrin, M. (2000). *Pesticide Profiles. Toxicity, Environmental Impact, and Fate*. Nueva York: CRC Press LLC.



- Kasozi, G., Kiremire, B., Bugenyi, F., Kirsch, N., & Nkedi-Kizza, P. (2006). Organochlorine residues in fish and water samples from Lake Victoria, Uganda. *Journal of Environmental Quality*, 584-589.
- Khan, S. (1980). *Pesticides in the soil environment*. New York : Elsevier.
- López, Z., Tavera, R., & Novelo, E. (2015). El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. *SciELO*, 13-28.
- Martín, P., Carroquino, M. J., Ordóñez, J. M., & Moya, J. (2016). *La evaluación de riesgos en salud. Guía metodológica. Aplicaciones prácticas de la metodología de evaluación de riesgos en salud por exposición a químicos*. Madrid: SESA.
- masdemx. (28 de Noviembre de 2018). +*DEMEX*. Obtenido de <https://masdemx.com/2018/03/chinampas-que-son-como-funcionan-mexico/>
- Milne, G. (1998). *CRC Handbook of pesticides*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Mor, F., & Ozmen, O. (2003). Acute endosulfan poisoning in cattle. *Veterinary and Human Toxicology*, 323-324.
- Nafziger, E. (2009). Corn. En C. o. University of Illinois at Urbana-Champaign, *Illinois Agronomy Handbook* (págs. 13-26). University of Illinois at Urbana-Champaign, College of Agriculture, Cooperative Extension Service.
- nexos, & Gallardo, F. (20 de Noviembre de 2018). *nexos*. Obtenido de <https://labrujula.nexos.com.mx/?p=1363>
- O'Sullivan, G., & Megson, D. (2014). Brief overview: discovery, regultaion, properties, and fate of POPs. En G. y. O'Sullivan, *Environmental Forensics for Persistent Organic Pollutants* (págs. 1-20). Elsevier.
- Ortiz, I., Avila , M., & Torres, L. (2014). Plaguicidas en México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 26-46.
- Pérez, P., Charli, L., Valiente, E., & Mazari, M. (23 de Abril de 2018). *Oikos*. Obtenido de <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/articulos/xochimilco?tmpl=component&print=1&page=>
- Pérez, R., Rodrigo, J., & Cassiraga, E. (Abril de 2018). Análisis del comportamiento de pesticidas en el suelo y aguas subterráneas. Estrasburgo, Francia: Simposio Becarios CONACYT en Europa.



- Ponce, G., & Botello, A. V. (2018). Plaguicidas organoclorados en organismos costeros y marinos de los litorales mexicanos: una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 81-98.
- Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. (1996). *Aldrin y Dieldrin. Guía para la salud y seguridad*. Estado de México: Organización Mundial de la Salud.
- Purucker, T., Stewart, R., & Dolislager, F. (07 de Agosto de 2007). *CLU-IN*. Obtenido de [https://clu-in.org/conf/tio/sadarisk\\_080707/prez/07epa\\_cluin\\_sadabw.pdf](https://clu-in.org/conf/tio/sadarisk_080707/prez/07epa_cluin_sadabw.pdf)
- Ramírez, P., & Mendoza, A. (2010). Fundamentos de la evaluación del riesgo ecológico. En I. Ize, M. Zuk, & L. Rojas, *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. Ciudad de México: INE-SEMARNAT.
- Ramos, R., Lenom, J., Flores, R., García, D., & E., N. (2001). Metales pesados, sales y sodio en suelos de Chinampa en México. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 385-395.
- RAMSAR. (16 de Enero de 2004). Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como habitat de aves acuáticas.
- Rau, A., Coutinho, A., Abavratna, K., Rau, A., & Warrior, R. (2012). Pesticide (Endosulfan) Levels In The Bone Marrow Of Children With Hematological Malignancies. *Indian Pediatrics*, 113-117.
- Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A.C. (2017). *Los plaguicidas altamente peligrosos en México*. Estado de México: RAPAM.
- Rhim, A., & Anacona, C. (Marzo de 2004). Riesgos ambientales asociados a sitios contaminados. Santiago, Chile.
- Risk Assessment Information System. (16 de Agosto de 2019). *The Risk Assessment Information System*. Obtenido de <https://rais.ornl.gov/tutorials/toxvals.html#2.2.1%20RfDs,%20RfCs,%20Slope%20Factors,%20and%20Unit>
- Roberts, J., & Reigart, J. (2013). *Recognition and management of pesticide poisonings*. Washington DC: 2013.
- Rodrigo, J. (2019). Comunicación personal. Valencia, Grupo de Hidrogeología. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, España: Universidad Politécnica de Valencia.



- Rothman, G., Fry, M., Peck, C., Lin, J., Young, D., Khan, F., & Hetrick, J. (8 de Diciembre de 2015). Guidance for Using the Volatilization Algorithm in the Pesticide in Water Calculator and Water Exposure Models. Environmental Fates and Effects Division.
- SAGARPA. (24 de julio de 2018). *gob.mx*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/plantas-y-alimentos-que-se-producen-en-las-chinampas?idiom=es>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2007). *Plan Delegacional de Desarrollo Sustentable de la Delegación Xochimilco*.
- SEMARNAT. (17 de Noviembre de 2017). *gob.mx*. Obtenido de *gob.mx*: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/217544/ASEA-00-015-B\\_gu\\_a\\_estudio\\_de\\_riesgo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/217544/ASEA-00-015-B_gu_a_estudio_de_riesgo.pdf)
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2012). *Guía de evaluación de impacto ambiental. Riesgo para la salud de la población*. SEA.
- Stewart, R., & Purucker, S. (2006). SADA: A freeware decision support tool integrating GIS, sample design, spatial modeling and risk assessment. USA: University of Tennessee.
- Stewart, R., Welsh, C., & Purucker, T. (Diciembre de 2009). An Introduction to Spatial Analysis and Decision Assistance. EEUU: University of Tennessee.
- University of Hertfordshire. (11 de marzo de 2019). *PPDB: Pesticide Properties DataBase*. Obtenido de <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/atoz.htm>
- University of Tennessee. (1996). SADA 5.0.78. Obtenido de <https://www.sadaproject.net/index.html>
- US EPA. (25 de Febrero de 2016). Pesticide in Water Calculator User Manual for Versions 1.50 and 1.52. Washington, EEUU.
- USEPA. (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)*. Washington: Office of Emergency and Remedial Response.
- USEPA. (2005). *PRZM-3 A model for predicting pesticide and nitrogen fate in the crop root and unsaturated soil zones: User manual for release 3.12.2*. Washington, DC: USEPA.



- USEPA. (Febrero de 2007). ORGANOCHLORINE PESTICIDES BY GAS CHROMATOGRAPHY. METHOD 8081B. EPA.
- USEPA. (2014). *Surface Water Concentration Calculator User Manual*. Washington DC: USEPA/OPP.
- USEPA. (2015). *Region 4 Ecological Risk Assessment Supplemental Guidance Interim Draft*. EPA.
- USEPA. (2016). *Pesticide in Water Calculator User Manual for Version 1.50 and 1.52*. Washington DC: USEPA.
- USEPA. (2016). *PRMZ5 A model for predicting pesticides in runoff, erosion, and leachate* . Washington DC: 2016.
- USEPA. (15 de Marzo de 2016). *The Variable Volume Water Model*. Washington, EEUU: EPA.
- viarural AGRO Y CONSTRUCCIÓN. (13 de marzo de 2019). *Agua y riego. Densidades de cosecha*. Obtenido de <https://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/semillashibridas/cargill/manualmaiz/manualmaizcargill44.htm>
- Vidal, L., Vallarino, A., Benitez, I., & Correa, J. (2015). Implementación del plan estratégico Ramsar en humedales costeros de la Península de Yucatán: normativas y regulación. *SciELO*, 873-887.
- Wexler, P. (2005). *Encyclopedia of Toxicology*. Elsevier.
- Xie, Y. (2016). *Report 293 – Part I: Developing a California-Based Receiving Waterbody Model for Pesticide Product Registration Evaluation: Review of Model Theory* . California: Department of Pesticide Regulation .
- Zambrano, L., Tovar, A., Sumano, C., Ayala, C., Rubio, M., & Trejo, M. (2014). *Rehabilitación de la red chinampera y del hábitat de especies nativas de Xochimilco*. Ciudad de México: Instituto de Biología UNAM.
- Zaragoza, A., Valladares, B., Ortega, C., Zamora, J., Velázquez, V., & Aparicio, J. (2016). Repercusiones del uso de los organoclorados sobre el ambiente y salud pública. *Abanico Veterinario*, 43-55.



## ANEXO A

### METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO<sub>5</sub> Y DQO

- METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO<sub>5</sub>

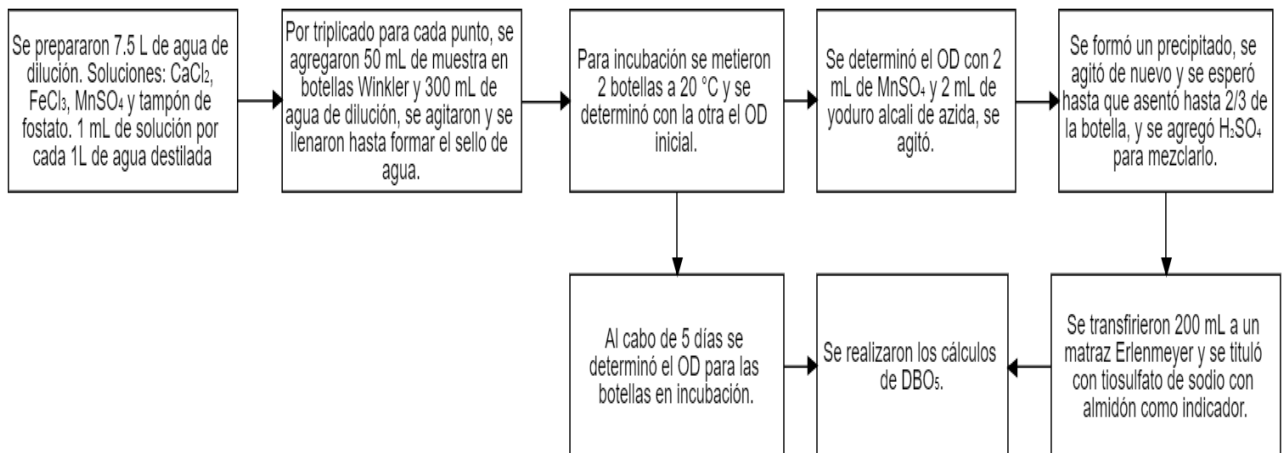


Figura 5.1. Determinación de DBO<sub>5</sub> de acuerdo con APHA, AWW, WEF (1999).



Figura 5.2. Agua de dilución

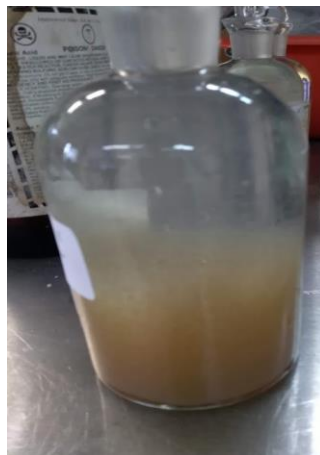


Figura 5.3. Winkler con sulfato de manganeso y yoduro alcalino de azida



Figura 5.4. Winkler con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado



Figura 5.5. Muestras por duplicado



Figura 5.6. Matraz con almidón



Figura 5.7. Titulación con tiosulfato

- METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE DQO

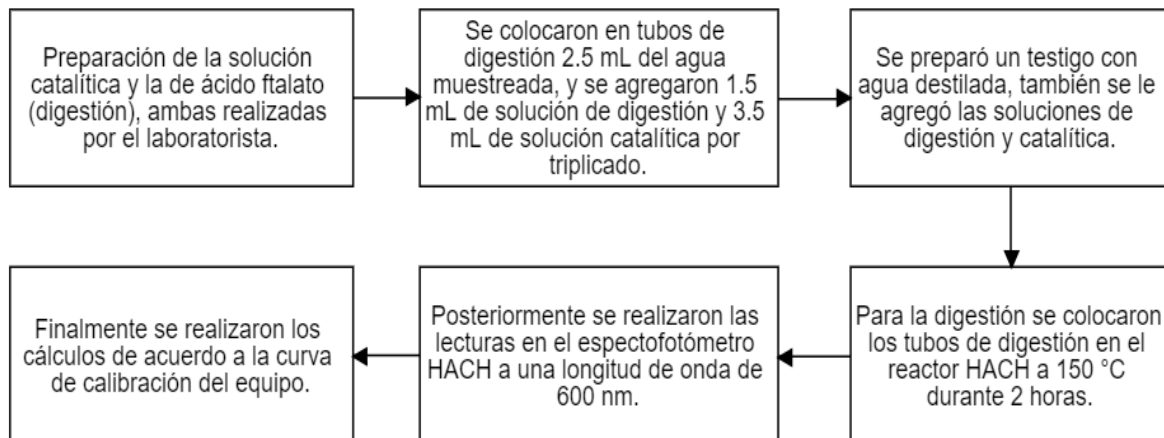


Figura 5.8. Determinación de DQO de acuerdo con HACH, (2000)



**Figura 5.9. Preparación de tubos de digestión**



**Figura 5.10. Digestión en reactor HACH**



**Figura 5.11. Lecturas en espectrofotómetro HACH**

## METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE PLAGUICIDAS EN AGUA Y SUELO

### • DETERMINACIÓN EN AGUA

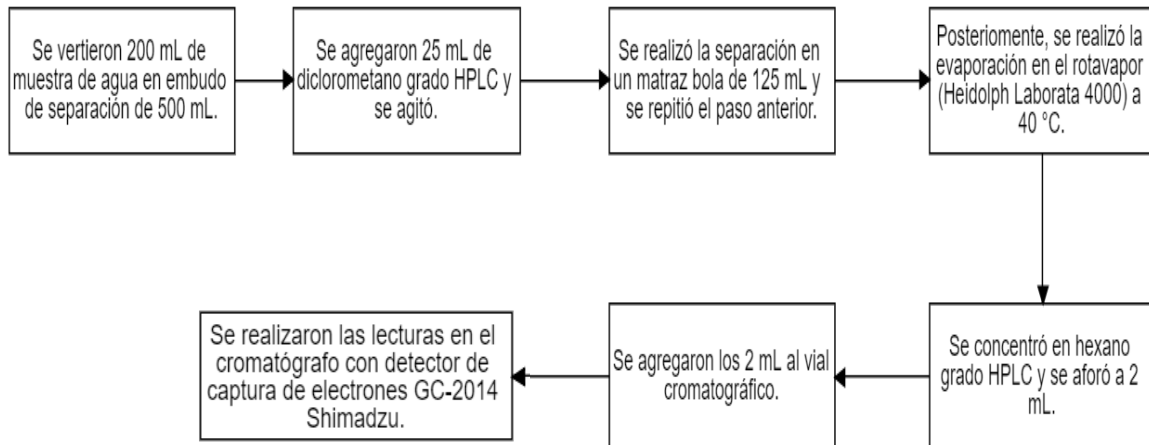


Figura 5.12. Determinación por cromatografía de gases para muestras de agua.

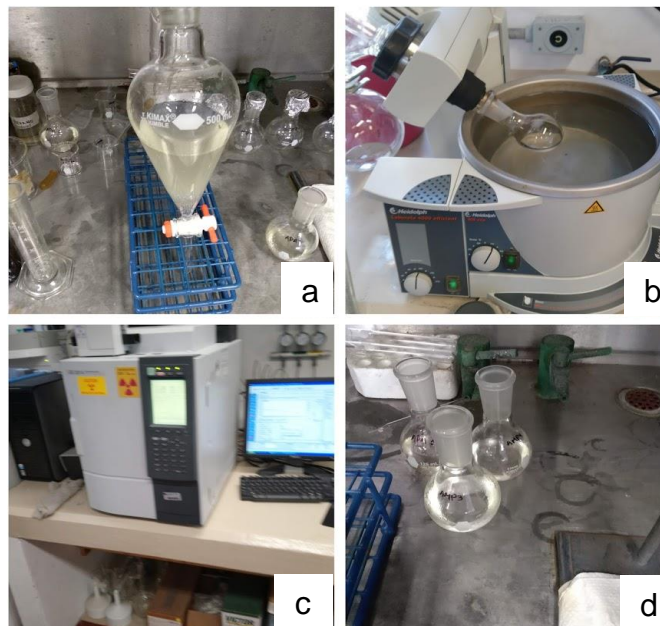


Figura 5.13. a) Extracción con diclorometano; b) Evaporación a 40 °C; c) Cromatógrafo de gases; d) Diclorometano de extracto



• DETERMINACIÓN EN SUELO

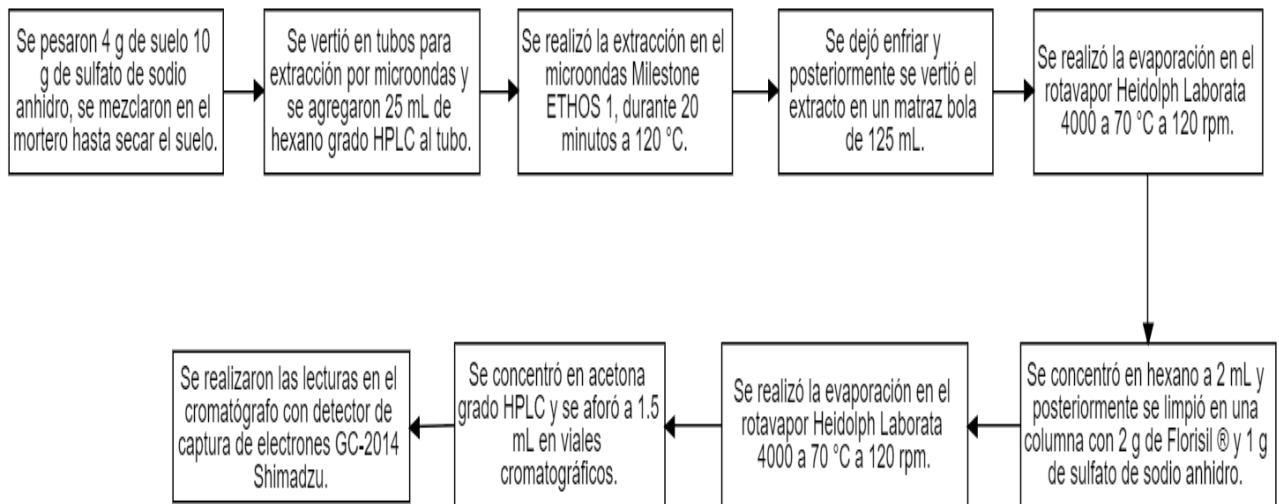


Figura 5.14 Determinación por cromatografía de gases para muestras de suelo.

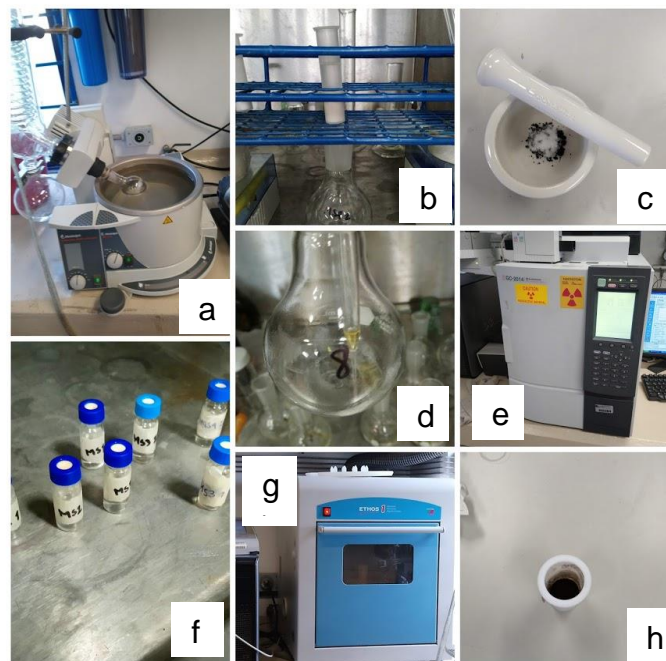


Figura 5.15. a) Evaporación a 70 °C, b) Limpieza con Florisil®; c) Secado de muestra; d) Concentración de hexano; e) Cromatógrafo con detector de captura de electrones; f) viales cromatográficos; g) Digestión en microondas; h) Tubo para digestión.

## ANEXO B

w.c. Pesticide Water Calculator (PWC), Version 1.52

File Scenario Help

Chemical Applications Crop/Land Runoff Watershed Batch Runs More Options Out: Pond Out: Reservoir Out: Custom Out:GW Advanced

Chemical ID (optional) 115-29-7

Parent
  Daughter
  Granddaughter

<input checked="" type="radio"/> Koc <input type="radio"/> Kd Sorption Coeff (mL/g)	11500	5190
Water Column Metabolism Half-life (day)	24	
Water Reference Temperature (°C)	20	
Benthic Metabolism Half-life (day)	120	
Benthic Reference Temperature (°C)	20	
Aqueous Photolysis Half-life (day)	0	0
Photolysis Ref Latitude (°)	0	0
Hydrolysis Half-life (day)	19	184
Soil Half-life (day)	50	257
Soil Reference Temperature (°C)	20	same
Foliar Half-life (day)	3.7	4
Molecular Weight (g/mol)	406.93	422.95
Vapor Pressure (tor)	6.23	.00000000
Solubility (mg/L)	.53	0.117
Push to Estimate Henry Henry's Constant	257	1.94E-09
Air Diffusion Coefficient (cm <sup>2</sup> /day)	4.78	
Heat of Henry (J/mol)	37000	

Q10 2

**Molar Formation: Decline Ratio**

Water Column Metabolism	3
Benthic Metabolism	2
Photolysis	0
Hydrolysis	5
Soil	90
Foliar	0

Figura 5.16. Propiedades de plaguicidas



Chemical Applications Crop/Land Runoff Watershed Batch Runs More Options Out: Pond Out: Reservoir Out: Custom Out:GW Advanced

Number of Applications:

Absolute Dates  
 Relative Dates

Hide Reservoir  Hide Pond  Hide Custom

Update Applications

Specify Years

**Application Refinements**

Applications occur every  Year(s)

Applications occur from year  to year

**Application Window Batch Analysis**

Apply Pesticide over a Time Window

Window (days)  
 Step (days)

**Application Method**

Day	Mon	Yr	Amount (kg/ha)	Below Crop	Above Crop	Uniform	@ Depth	T Band	Δ	▽	Depth (cm)	T-Band Split	Eff.	Drift	Eff.	Drift	Eff.	Drift
15	5	18	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	.064	.99	0.064
15	5	17	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	0.064	.99	0.064
15	5	16	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	0.064	.99	0.064
15	5	15	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	0.064	.99	0.064
15	5	14	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	0.064	.99	0.064
15	5	13	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	0.064	.99	0.064
15	5	11	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	0.064	.99	0.064
15	5	10	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	0.064	.99	0.064
15	5	09	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	0.064	.99	0.064
15	5	12	1.7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			.99	.064	.99	.064	.99	.064

Figura 5.17. Aplicación del plaguicida.



MMMDMY	PRECIP	PEVP	TEMP	WIND	SOLRAD
10109	0.00	0.76	13.4	67.9	119.0
10209	0.00	0.74	13.5	31.5	124.0
10309	0.00	0.71	14.3	75.2	111.5
10409	0.00	0.67	15.4	56.9	117.5
10509	0.00	0.89	14.9	166.5	122.0
10609	0.00	0.76	15.0	48.5	125.7
10709	0.00	0.71	15.1	14.6	124.2
10809	0.00	0.77	14.8	25.8	126.6
10909	0.00	0.76	15.1	35.2	123.3
11009	0.00	0.76	15.1	29.8	125.7
11109	0.00	0.82	13.7	74.6	127.5
11209	0.00	0.70	14.2	61.7	88.7
11309	0.00	0.68	12.4	46.5	42.3
11409	0.00	0.65	12.0	11.3	73.6
11509	0.56	0.57	11.3	12.5	37.1
11609	0.56	0.63	9.6	50.2	34.0
11709	0.50	0.65	11.8	58.1	131.1
11809	0.00	0.70	12.9	73.3	124.1
11909	0.00	0.79	12.5	61.5	152.0
12009	0.00	0.78	13.1	78.8	148.6
12109	0.00	0.80	13.7	80.4	151.1
12209	0.00	0.81	13.7	51.5	152.0
12309	0.00	0.80	14.7	51.9	155.5
12409	0.00	0.86	15.1	95.6	154.8
12509	0.00	0.73	14.7	15.8	159.0
12609	0.00	0.81	15.7	40.8	159.5

Figura 5.18. Archivo meteorológico.





File Scenario Help

Chemical Applications **Crop/Land** Runoff Watershed Batch Runs More Options Out: Pond Out: Reservoir Out: Custom Out:GW Advanced

Scenario ID

Weather File

**Growth Descriptors**

Day	Month		
15	4	Emerge	60
15	8	Mature	350
15	9	Harvest	300

Root Depth (cm)   
Canopy Cover (%)   
Canopy Height (cm)   
Canopy Holdup (cm)

**Hydro Factors**

Pan Factor   
Snowmelt Factor (cm/°C/day)   
Evaporation Depth (cm)

Boundary Layer Thickness for Volatilization (cm)

**Post-Harvest Foliage**

Surface Applied  
 Removed  
 Left as Foliage

**Irrigation**

None  
 Over Canopy  
 Under Canopy

Extra Water Fraction  Allowed Depletion  Max Rate (cm/hr)

Soil Irrigation Depth  Root Zone  
 User Specified (cm)

**Soil Layers**

Number of Horizons:    Simulate Temperature

Thick (cm)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Max. Cap.	Min. Cap.	OC (%)	N	Sand (%)	Clay (%)
10	0.29	.320	0.175	8.1	1	30.4	25.4
50	0.69	.380	0.210	5.9	1	22.8	37.4
110	0.51	.375	0.220	7.4	1	24.8	35.4
120	0.43	0.360	0.215	14.4	1	26.8	35.4

Lower BC Temperature (°C)

Albedo

Figura 5.19. Cultivo y suelo.



wc. Pesticide Water Calculator (PWC), Version 1.52

File Scenario Help

Chemical Applications Crop/Land **Runoff** Watershed Batch Runs More Options Out: Pond Out: Reservoir Out: Custom Out:GW Advanced

No. of Time-Varying Factors:

Specify year

	Day	Mon	CN	USLE-C	N	Year
1	28	06	78	.59	1	12
2	06	06	78	.59	1	11
3	07	06	78	.59	1	11
4	08	06	78	.59	1	11
5	09	06	78	.59	1	11
6	10	06	78	.59	1	11
7	11	06	78	.59	1	11
8	12	06	78	.59	1	11
9	13	06	78	.59	1	11
10	14	06	78	.59	1	11
11	15	06	78	.59	1	11
12	16	06	78	.59	1	11
13	23	08	78	.59	1	11
14	25	08	78	.59	1	11
15	26	08	78	.59	1	11
16	06	10	78	.59	1	11
17	07	10	78	.59	1	11
18						
19						

PRZM5 Runoff & Erosion Extraction

Distribution of Runoff in Surface		Distribution of Eroded Solids	
R-Depth (cm)	<input type="text" value="2"/>	E-Depth (cm)	<input type="text" value="2"/>
R-Decline (1/cm)	<input type="text" value="1.55"/>	E-Decline (1/cm)	<input type="text" value="1"/>
Efficiency	<input type="text" value=".25"/>	Efficiency	<input type="text" value="0.2"/>

0.21 USLE K  
0.1 USLE LS  
0.6 USLE P  
1 IREG  
1 Slope (%)

Figura 5.20. Escorrentía

File Scenario Help

Chemical Applications Crop/Land Runoff **Watershed** Batch Runs More Options Out: Pond Out: Reservoir Out: Custom Out:GW Advanced

Simulation Type

EPA Pond

EPA Reservoir

Use Flow Averaging (days)

Ground Water

User-Defined Surface Water Body  
(Choose one or none):

Varying Volume & Flowthrough

Constant Volume No Flowthrough

Constant Volume with Flowthrough  
Flow Averaging (days)

No Water Body (PRZM Only)

Sediment Accounting

No Burial

Burial

PRBEN

Watershed and Water Body Dimensions

	EPA Pond	EPA Reservoir	User Defined
Field Area (m <sup>2</sup> )	<input type="text"/>	<input type="text"/>	400
Water Body Area (m <sup>2</sup> )	<input type="text"/>	<input type="text"/>	24000
Initial Depth (m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1
Max Depth (m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1.3
Hydraulic Length (m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	100
Cropped Area Fraction	1.0	1.0	1
Base Flow (m <sup>3</sup> /s)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	0.0

Water Body Physical Parameters

USEPA/OPP defaults

Water Column Parameters		Benthic Parameters	
DFAC	1.19	Benthic Depth (m)	0.2
Water ColumnSS (mg/L)	18.6	Benthic Porosity	.05
Chlorophyll (mg/L)	0.8	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.63
Water Column foc	0.6	Benthic foc	0.6
Water Column DOC (mg/L)	10	Benthic DOC (mg/L)	12
Water Column Biomass (mg/L)	15.65	Benthic Biomass (g/m <sup>2</sup> )	0.8
		Mass Xfer Coeff. (m/s)	1E-8

Figura 5.21. Información del cuerpo de agua.



## ANEXO C



Coordinación Nacional de Protección Civil  
Centro Nacional de Prevención de Desastres  
Dirección General

H00-DG/1684/2018

Ciudad de México, a 23 de noviembre de 2018

DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ  
Profesora del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental  
División de Ingeniería Civil y Geomática  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Presente

Hago referencia al oficio recibido en este Centro Nacional el pasado 11 de octubre, mediante el cual nos solicita el apoyo para hacer el análisis de plaguicidas probablemente presentes en 6 muestras de agua y 4 muestras de suelo tomadas en diferentes puntos de los canales de Xochimilco, Ciudad de México.

Al respecto, hago de su conocimiento que los análisis realizados en el Laboratorio de Muestras Ambientales indican la presencia de aldrín, endosulfán II, dieldrín y endosulfán I en agua, y de aldrín, endosulfán II y dieldrín en suelo. Las muestras fueron analizadas en un cromatógrafo de gases GC-2014 con detector de captura de electrones marca Shimadzu, bajo las siguientes condiciones del horno; temperatura inicial: 100°C por 2 min, 15°C/min hasta 160°C, 5°C/min hasta 270°C, inyector a una temperatura de 225°C en modo Split y se utilizó nitrógeno como gas acarreador a un flujo de 0.8 mL/min. Se anexa reporte.

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente

Con fundamento en el Artículo 132 del Reglamento Interior de la Secretaría de Gobernación,  
así como el Oficio No. CNPC/1645/2018, lo firma:

ING. OSCAR ZEPEDA RAMOS  
Director de Análisis y Gestión de Riesgos y  
Encargado del Despacho de la Dirección General



## REPORTE DE RESULTADOS

Reporte No.: LMA-008-2018  
Fecha de reporte: 23-11-2018

Recepción de muestras: Octubre 2018  
Análisis: Plaguicidas clorados  
Sitio de muestreo: Xochimilco, Ciudad de México  
Muestras tomadas por: Ricardo Iván Salas Ramírez  
Matriz de la muestra: Agua y suelo  
Métodos de análisis: Cromatografía de gases  
Analizado/Preparado por: J. Adriana Ramírez Castillo, Ma. Lilia Calva Rodríguez  
Solicitante: Dra. Georgina Fernández

PARÁMETRO	MUESTRAS DE AGUA		
	APA1	APA2	AMP2
Aldrín	9.54	N.D	N.D
Endosulfán II	63.97	55.02	N.D
Dieldrín	N.D	N.D	48.42
Endosulfán I	29.91	N.D	N.D

Las concentraciones se reportan en  $\mu\text{g.L}^{-1}$   
N.D. No detectado

PARÁMETRO	MUESTRAS DE SUELO	
	MS1	MS4
Aldrín	1.43	N.D
Endosulfán II	3.72	N.D
Dieldrín	N.D	3.19

Las concentraciones se reportan en  $\mu\text{g.Kg}^{-1}$   
N.D. No detectado