

**“Informe Técnico Apoyado por la Comisión de Cooperación  
Ambiental de América del Norte”**

**Identificación de Indicadores para el Monitoreo de la  
Deltametrina y del DDT y sus Metabolitos  
en Muestras Humanas y Ambientales**

# **COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DEL DDT Y DE LA DELTAMETRINA**



**María Deogracias Ortiz,  
Leticia Yáñez y  
Fernando Díaz-Barriga**

Correspondencia:  
Fernando Díaz-Barriga  
Laboratorio de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí.  
Avenida Venustiano Carranza No. 2405, Col. Lomas los Filtros, CP 78210,  
San Luis Potosi, SLP, México

Teléfono y Fax : (52-48) 262 - 354

Correo electrónico : [fdia@prodigy.net.mx](mailto:fdia@prodigy.net.mx)



Visita la página de la  
**Agenda Ambiental**  
de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
<http://ambiental.uaslp.mx/>

URL de este documento:  
<http://ambiental.uaslp.mx/docs/FDB-DDTAmbiental.pdf>

# Índice

<b>1.</b>	<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.2.	DELTAMETRINA.....	1
1.3.	DDT.....	2
1.4.	ESCENARIO GENERAL DE EXPOSICIÓN.....	2
<b>2.</b>	<b>INTERIORES .....</b>	<b>3</b>
2.1.	COMPORTAMIENTO DE LOS INSECTICIDAS .....	3
2.2.	ESCENARIO DE EXPOSICIÓN.....	5
2.3.	INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS .....	5
<b>3.</b>	<b>SUELO.....</b>	<b>6</b>
3.1.	COMPORTAMIENTO DEL DDT EN EL SUELO.....	7
3.2.	COMPORTAMIENTO DE LA DELTAMETRINA EN EL SUELO.....	8
3.3.	ESCENARIO DE EXPOSICIÓN.....	9
3.4.	INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS .....	10
<b>4.</b>	<b>AIRE .....</b>	<b>11</b>
4.1.	COMPORTAMIENTO DE LOS INSECTICIDAS .....	11
4.2.	INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS .....	12
<b>5.</b>	<b>AGUA.....</b>	<b>13</b>
5.1.	COMPORTAMIENTO DEL DDT EN EL AGUA.....	13
5.2.	COMPORTAMIENTO DE LA DELTAMETRINA EN EL AGUA.....	14
5.3.	ESCENARIO DE EXPOSICIÓN.....	15
5.4.	INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS .....	15
<b>6.</b>	<b>SEDIMENTOS.....</b>	<b>17</b>
6.1.	COMPORTAMIENTO DEL DDT EN SEDIMENTOS .....	17
6.2.	COMPORTAMIENTO DE LA DELTAMETRINA EN SEDIMENTOS.....	18
6.3.	ESCENARIO DE EXPOSICIÓN.....	18
6.4.	INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS .....	19
<b>7.</b>	<b>BIOACUMULACIÓN .....</b>	<b>20</b>
7.1.	BIOTA ACUÁTICA Y DDT.....	20
7.2.	BIOTA TERRESTRE Y DDT.....	22
7.3.	BIOACUMULACIÓN DE LA DELTAMETRINA .....	23
7.4.	ESCENARIO DE EXPOSICIÓN.....	23
7.5.	INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS .....	24
<b>8.</b>	<b>ESCENARIO TROPICAL .....</b>	<b>25</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>32</b>

# **1. ANTECEDENTES**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

Desde el siglo pasado y hasta fines de los años 50's, el paludismo fue una de las principales causas de muerte en México<sup>1</sup>. Por ejemplo, en 1813 esta enfermedad mató al 20% de los habitantes de la Ciudad de México y en las décadas de los 30's y de los 40's se consolidó como la tercera causa de muerte en el país, con tasas de mortalidad superiores a 300 por 100 mil habitantes<sup>1</sup>. En este escenario, surge el DDT, cuya aplicación en el Programa Antipalúdico se generalizó a partir de 1956. El éxito del DDT fue rotundo, de 41 mil casos de paludismo reportados en 1955, se bajó a 4 mil casos en 1960; en 1970 se relajó la campaña y los casos aumentaron a 57 mil, en 1978 con la campaña en pleno auge los casos disminuyeron a 19 mil<sup>1</sup>. En la actualidad, el uso del DDT ha disminuído de forma importante y a partir de 1998, los insecticidas de selección para el control del paludismo son los piretroides y de entre ellos, destaca el empleo de la deltametrina.

## **1.2. DELTAMETRINA**

Los piretroides se desarrollaron tomando como modelo la estructura de las piretrinas naturales producidas por el crisantemo. En general podemos dividir a esta familia de insecticidas en dos grandes grupos: los piretroides tipo I que son aquellos que carecen de un grupo ciano (permetrina, tetrametrina, etc.) y los piretroides tipo II que contienen un grupo ciano en el alcohol 3-fenoxibenzoico (cispermetrina, fenvalerato, deltametrina, etc.)<sup>2</sup>. Además del grupo ciano, otra modificación importante es la presencia de elementos halógenos en la molécula. Así, la deltametrina contiene dos átomos de bromo<sup>2</sup>.

La deltametrina es un piretroide insecticida que aniquila a los insectos por contacto directo o ingestión. Es utilizado en la agricultura y recientemente ha adquirido relevancia como insecticida de selección para el control de los mosquitos vectores en las áreas endémicas de paludismo<sup>3</sup>. En el comercio se le encuentra en diversas presentaciones, entre otras: concentrados emulsionables, polvos humectables, gránulos, etc<sup>4</sup>. Se sintetizó en 1974 y fue comercializada por primera vez en 1977<sup>4</sup>. Desde 1980 hasta 1987, la deltametrina se utilizó solamente en el algodón; no obstante, después de esta etapa su empleo en otros cultivos se ha incrementado de forma notoria. En la actualidad casi la mitad de la deltametrina se continúa utilizando en algodón, una cuarta parte en frutas y hortalizas, un 20% en cereales y el resto en usos diversos como el control de insectos domésticos, campañas de salud pública, fumigación de bodegas, preservación de madera, etc<sup>4</sup>. Se aprecia entonces que la deltametrina tiene un amplio espectro insecticida y por ello es considerado como uno de los piretroides más potentes; de hecho, es hasta tres veces más activo que otros piretroides<sup>5,6</sup>.

Como ya lo apuntamos, la estructura de la deltametrina se basa en la de las piretrinas naturales, por lo cual tiene la capacidad de paralizar al sistema nervioso de los insectos<sup>7</sup>. Sin embargo, una de las ventajas de la deltametrina sobre las piretrinas naturales es su mayor estabilidad. Por ejemplo, no se degrada después de su almacenamiento por seis meses a 40°C, es estable al oxígeno atmosférico, pero bajo irradiación ultravioleta y a la luz solar, ocurre una isomerización cis-trans, se rompe la unión éster y se produce una pérdida de los bromos<sup>8</sup>. Es más estable en soluciones ácidas que en alcalinas<sup>9</sup>. La deltametrina es un compuesto lipofílico de alto peso molecular y baja volatilidad, por lo tanto, se utiliza para la aplicación en suelos porque prácticamente no se mueve a las fases gaseosas o acuosas<sup>10</sup>.

### **1.3. DDT**

El DDT es un insecticida organoclorado cuyo principal uso actual es el control del paludismo a través del exterminio de los mosquitos vectores. En el pasado reciente también se empleaba en cultivos tan populares como el algodón; pero ahora, en este uso ha sido substituído por insecticidas menos persistentes. La síntesis química del DDT se logró a finales del siglo pasado; sin embargo, no fue sino hasta la segunda guerra mundial cuando se generalizó su uso como insecticida, en este caso, para el combate contra el tifo y el paludismo<sup>11</sup>. Poco después, su aplicación se amplió al campo agrícola y ya para la década de los 60's, el 80 % de la producción de DDT era empleada en el cultivo del algodón<sup>11</sup>.

El DDT fue prohibido en Suecia durante 1970 y en los Estados Unidos durante 1972<sup>12</sup>. El grado técnico del DDT en realidad es una mezcla de tres isómeros de DDT, el principal es el p,p'-DDT (85%), y los isómeros o,p'-DDT y o,o'-DDT se presentan en cantidades mucho menores<sup>12</sup>. En los sistemas animales el DDT y sus isómeros se transforman lentamente<sup>13</sup>. Los primeros metabolitos en mamíferos son el 1,1-dicloro-2,2-bis (p-diclorodifenil) etileno (DDE) y el 1,1-dicloro-2,2-bis(p-clorofenil) etano (DDD), ambos tienen la capacidad de almacenarse en el tejido adiposo<sup>12,13</sup>. Estos compuestos pueden transformarse a su vez en el bis (diclorodifenil) ácido acético (DDA) y en el DDE metil sulfonato (DDE-ms)<sup>12-14</sup>. El DDA se excreta por orina<sup>12</sup> y el DDE-ms se concentra en la glándula suprarrenal<sup>15</sup>.

Debido a sus características fisicoquímicas, el DDT puede transportarse por grandes distancias y ello ha originado su distribución global. Se ha encontrado DDT y sus metabolitos DDD y DDE aún en lugares donde el insecticida no ha sido aplicado, tal y como ocurre en el Artico.

### **1.4. ESCENARIO GENERAL DE EXPOSICIÓN**

El escenario actual es de una exposición crónica simultánea al DDT y a los piretroides. En el caso del DDT, se trata del DDT residual. Esto es, a pesar de que el insecticida ya no se está utilizando, debido a su alta persistencia, todavía podrá detectarse en los diferentes medios del ambiente. En cuanto a los piretroides, su permanente presencia

también se dará. Ello debido a que su efecto antipalúdico implica la necesidad de mantener un efecto residual, efecto que se da precisamente por la presencia del piretroide.

En este documento se pretende presentar de manera resumida, las características principales del comportamiento del DDT y de la deltametrina (como representante de los piretroides), en cada uno de los medios del ambiente que deben ser monitoreados. El documento incluirá la definición y descripción de los indicadores identificados en la literatura para el monitoreo del DDT, la deltametrina y los metabolitos del DDT en muestras ambientales; haciendo énfasis entre otras cosas de: (A) las ventajas y desventajas de su utilización; (B) sus costos; (C) la infraestructura necesaria para su utilización, tanto en equipo como en recursos humanos; y (D) la posibilidad de utilización en la región y las necesidades regionales para su adecuado uso.

## **2. INTERIORES**

### **2.1. COMPORTAMIENTO DE LOS INSECTICIDAS**

La deltametrina ahora, como el DDT antes, se aplica por rociado. En el interior de las viviendas la fumigación se da en las paredes y en los techos con una frecuencia de tres veces por año, sobre todo en las comunidades cuyos habitantes han presentado casos de paludismo<sup>16</sup>. Las formulaciones que se han utilizado son polvos humectables y la dosis es de 25 mg/m<sup>2</sup>. En breve iniciará una estrategia diferente, donde el polvo humectable será aplicado por nebulización (la gota es más chica que en el caso del rociado)<sup>16</sup>. La nebulización permitirá una mayor distribución del insecticida por toda la vivienda, pero debido a que la vida media de la deltametrina es menor por este medio, las fumigaciones serán más frecuentes, cuatro veces por año<sup>16</sup>. Independientemente del método de aplicación, una casa promedio con una superficie de pared de 250 m<sup>2</sup> requiere de un total de seis gramos de insecticida para cubrirla en su totalidad.

El área de paludismo en México es una zona tropical donde abundan las comunidades indígenas y las zonas marginadas. Por ello, el tipo de vivienda es modesto, con paredes de diversos materiales (madera, barro, etc.) y piso que la mayoría de las veces es de tierra y en algunas ocasiones de cemento. El techo por lo general es de paja. La vivienda familiar puede comprender uno o dos cuartos. En este último caso, una habitación sirve para la preparación de los alimentos y otra se utiliza para el descanso de los miembros de la familia. Ambos son fumigados.

La frecuencia de la aplicación permite un efecto residual de la deltametrina; es decir, aplicando la deltametrina cada cuatro meses se garantiza una concentración suficiente para que en las paredes haya actividad insecticida. Con esta frecuencia de fumigación, se permite el que la deltametrina esté permanentemente presente en las viviendas.

Debido a que la aplicación es por fumigación, se esperaría que el primer medio de exposición fuera la presencia de la deltametrina en aire. No obstante, en estudios realizados en interiores, se ha mostrado que después de 6-12 horas de una nebulización automática, la concentración en aire decrece de manera dramática hasta niveles no detectables, bajo condiciones de ventilación<sup>17</sup>. Considerando que las habitaciones fumigadas en áreas palúdicas, tienen excelente ventilación debido a la alta temperatura ambiental promedio, es de esperarse que la concentración en aire disminuya de manera importante horas después de la aplicación. Esto trae como consecuencia directa que la inhalación sea una vía de exposición importante solamente en los primeros momentos después de la fumigación. Por ejemplo, se ha descrito que después de una nebulización, el tiempo de seguridad para volver a entrar a un ambiente con deltametrina es de 10 horas<sup>17</sup>. En las zonas palúdicas, los individuos vuelven entrar a las habitaciones fumigadas antes de una hora después de la operación.

El efecto residual se presenta en las paredes y techo, lo cual se da por la adhesión del insecticida a los materiales. Además, la fumigación causa la contaminación del piso y entonces diversos escenarios pueden presentarse si éste es de tierra o de cemento. Los sujetos de mayor riesgo son el niño y la mujer ama de casa. El niño puede exponerse por la ingesta de suelo o bien, por la exposición dérmica a través del contacto directo con los materiales. La mujer ama de casa, se contaminaría sobre todo por la exposición dérmica. Recordemos que si bien la ropa de protección evita en un 95% la exposición al insecticida<sup>17</sup>, los habitantes de las zonas tropicales de manera normal visten con ropa ligera y los niños no utilizan calzado alguno.

En el caso de las viviendas con suelo de tierra, el insecticida depositado en el suelo no pasaría al aire. Por un lado, debido a que la deltametrina se adhiere fuertemente a la tierra (ver más adelante) y por otro, debido a que el compuesto es poco volátil. No obstante, en este escenario también hay que considerar una mayor probabilidad de exposición por ingesta, sobre todo en infantes que por su corta edad, tuvieren actividades a nivel piso y que entonces pudieren ingerir partículas de tierra. La exposición tendría mayor riesgo en los primeros días después de la fumigación. Por ejemplo, se ha demostrado que en interiores ventilados, la concentración de deltametrina decae un 50% en material foliar dos días después de su aplicación en interiores ventilados<sup>17</sup>. En caso del suelo de cemento, se abre una incertidumbre, ya que, al no haber adhesión, podría darse el caso de que las partículas con deltametrina podrían estar más disponibles al contacto con los individuos.

Las mayores diferencias del escenario del DDT con el de la deltametrina es su alta persistencia y su semivolatilidad. En el caso del organoclorado, la persistencia se mide en años y en el caso de la deltametrina se mide en meses. En un estudio efectuado en Alemania donde se aplicó DDT en interiores como preservador de madera, se encontró exposición infantil, al menos siete años después de la última aplicación<sup>18</sup>. Es importante resaltar que la vida media del DDT en exteriores (tierra) es de 2 a más de 15 años<sup>19</sup>. Asumiendo que la degradación en interiores podría ser más lenta, la persistencia del DDT al interior de las viviendas sería mayor. No obstante, podría ver alguna pérdida por volatilidad.

## 2.2. ESCENARIO DE EXPOSICIÓN

Los individuos de las zonas palúdicas estarían expuestos de manera simultánea al DDT residual, a los metabolitos del DDT y a la deltametrina. La concentración del DDT y de sus metabolitos disminuiría gradualmente después de la última aplicación (que por ejemplo en Oaxaca fue a principios de 1998). En tanto, la concentración de la deltametrina sería mayor en las primeras dos semanas después de la fumigación y disminuiría rápidamente hasta que se diere la siguiente fumigación. Las rutas de exposición de mayor importancia serían: la ingesta de tierra (en el caso de las viviendas que tuvieran piso de este material), el contacto dérmico con el material contaminado con deltametrina (la vía dérmica no es una vía de exposición para el caso del DDT<sup>12</sup>), la inhalación de la deltametrina en los periodos inmediatos a la fumigación y la inhalación del DDT residual que se pierda por volatilidad. Cuando la fumigación no se realiza con cuidado, un ruta de exposición podría ser la ingesta de alimento contaminado o la exposición a prendas de vestir impregnadas con el insecticida.

## 2.3. INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS

### *Incertidumbres.*

- A. Concentración de la deltametrina en interiores a diferentes tiempos después de la fumigación. Se ha demostrado que la biodegradación es muy importante para reducir la concentración de este piretroide en tierra (ver adelante). En el caso de las viviendas con piso de tierra, la biodegradación en interiores podría ser diferente a la que se presenta en exteriores.
- B. El hecho de que el DDT se haya dejado de utilizar, no implica la desaparición inmediata del mismo. La fumigación de una vivienda requería de 500 gramos por vivienda (dos gramos de DDT/m<sup>2</sup>). Por consiguiente, habrá que vigilar la concentración del DDT en interiores a través del tiempo. Esperamos que el insecticida vaya disminuyendo conforme el tiempo progresa. Un ejemplo del problema se presenta en la Tabla 1, donde puede advertirse la diferencia en la concentración del DDT entre una vivienda rociada (área palúdica) con una vivienda no expuesta (área control). La vivienda fumigada tuvo 53 veces más DDE, dos mil veces más DDD y 223 más DDT, en el material colectado en el piso, que la vivienda no tratada. La presencia de metabolitos podría ser indicativo de algún proceso de transformación química o biológica.

**TABLA 1. Niveles de DDT en Suelo Superficial Interior (mg/kg)**

LOCACION	DDE	DDD	DDT
Area Control	0.26	0.02	0.37
Area Palúdica	13.8	41.0	82.7



La investigación de los puntos anteriores nos indicarían el nivel de persistencia de los plaguicidas en el interior de las viviendas, y al mismo tiempo, nos permitirían estimar la magnitud de la exposición por el rociado intradomiciliario. Estudios recientes han puesto en duda el que exista un riesgo por la exposición a los piretroides en interiores<sup>20,21</sup>. Sin embargo, estos análisis se han efectuado para escenarios urbanos donde la fuente del insecticida es la aplicación doméstica y donde se comprueba que el insecticida aplicado queda adherido a los tapetes o alfombras que cubren el piso, generalmente de mosaico.

El escenario que estudiaremos es diferente, dado que la fuente es una fumigación intensa del interior y donde no existen tapetes o alfombras, sino tierra o cemento que está en contacto directo con los niños.

Aunado a lo anterior, los datos también nos permitirían establecer si el material que fue rociado sobre las paredes se pierde, para convertirse en fuente contaminante para el piso de la vivienda.

Para realizar estudios sobre estas incertidumbres habrá que cuantificar los niveles de DDT y de deltametrina en suelo de interiores (las concentraciones en paredes serían de menor riesgo ya que el contacto con ellas es reducido, aunque, recordemos que los niños podrían ponerse en riesgo, por ejemplo, en caso de pica).

*Muestreo.* La colecta de suelo o polvo superficial en un área definida, nos revelaría la posible exposición de los niños que pasan tiempo de recreación o de descanso al interior de la vivienda. Una muestra profunda nos podría dar datos históricos. Es de suma importancia cuantificar varias viviendas, comparando los resultados con el número de fumigaciones recibidas. Asimismo, se requiere coleccionar muestras de viviendas no fumigadas para obtener un nivel basal de la zona.

*Método de Análisis.* Se pueden utilizar las estrategias que se describen en la siguiente sección dedicada al suelo.

### **3. SUELO**

La concentración de los plaguicidas en el suelo puede ser disminuída por la fotólisis, por la hidrólisis, por la biodegradación, por la volatilidad y/o por el lavado del suelo debido a la presencia de corrientes de agua en épocas de lluvia<sup>22,23</sup>. Como resultado de la degradación se pueden formar metabolitos, que en el caso de la deltametrina no serían tóxicos<sup>2</sup>, pero que, en el caso del DDT sí lo serían<sup>12,19</sup>. Por consiguiente, la desaparición de la deltametrina del suelo si implica un proceso de detoxificación, pero en el caso del DDT, su desaparición no necesariamente significa que la toxicidad disminuye y en consecuencia, en muestras de suelo debe analizarse, no solamente la concentración del DDT sino también la de sus metabolitos.

### 3.1. COMPORTAMIENTO DEL DDT EN EL SUELO

De acuerdo al tiempo en que tardan en degradarse, los plaguicidas se dividen en grupos<sup>22</sup>. Así, el DDT se identifica como un insecticida de alta persistencia (vida media mayor a 100 días)<sup>19</sup>; y por ejemplo, en algunos bosques su vida media llega a ser de 20 a 30 años<sup>24</sup>.

*Afinidad por Suelos.* La Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) califica la afinidad de las sustancias por el suelo de acuerdo al parámetro Koc (coeficiente de adsorción)<sup>25</sup>. En esta calificación las sustancias con un Koc superior a 100 mil son las que se adsorben con mayor fuerza al suelo<sup>25</sup>. El DDT tiene un Koc de 240 mil, el DDD lo tiene de 780 mil y el DDE supera a los tres con un Koc que es cinco veces superior al del DDD<sup>12</sup>. Debido a su alta persistencia y en consecuencia directa de su biodegradación y afinidad por el suelo, es normal que en suelos tratados con el DDT, la concentración de éste vaya disminuyendo al tiempo de que la concentración de los metabolitos va incrementándose, sobre todo el DDE (sin embargo, ver el párrafo de volatilidad). Se han descrito algunos suelos que son particularmente resistentes a la degradación del DDT y en ellos, el cociente DDE/DDT es menor de lo normal<sup>12</sup>.

*Fotólisis.* Otro factor relacionado con la degradación es la fotólisis, pero este es un factor limitado a la superficie del suelo y en condiciones reales su importancia puede disminuir por la interacción que se establece entre el insecticida y las moléculas del suelo. Se ha postulado que el DDE podría formarse a partir de la fotooxidación del DDT<sup>19</sup>. En los plaguicidas persistentes, la luz solar tendría el tiempo suficiente para actuar sobre las moléculas que estuvieren presentes en la superficie.

*Volatilidad.* En cuanto a la volatilidad, la ATSDR ha categorizado a los compuestos volátiles en relación al valor de la Ley de Henry<sup>25</sup>. De acuerdo a ello, el DDT y sus metabolitos serían compuestos de volatilidad moderada o semivolátiles<sup>12</sup>. El DDT puede bajar su concentración en suelo por volatilidad. Por ejemplo, el DDT volatiliza de los suelos con una vida media de 100 días<sup>12</sup>. Sin embargo, para el caso particular del DDT, hay que considerar que el DDD es cinco veces menos volátil que el DDT, en tanto el DDE es hasta ocho veces más volátil que el DDT<sup>12,26</sup>. La volatilidad se incrementa con el aumento de temperatura<sup>12</sup>. Con el paso del tiempo, y debido a su mayor volatilidad, la concentración del DDE en suelo tendería a ser menor que el DDT y entonces el cociente DDE/DDT sería menor que la unidad. Ello podría llevar a la falsa suposición de que el DDT se encuentra en mayores proporciones como resultado de una aplicación reciente.

*Biodegradación.* La biodegradación del DDT recientemente ha recibido la atención de diversos estudiosos. Así, se ha reportado que en suelos inundados el DDT se transforma a DDD, con una degradación de 31 días en suelos de rico contenido orgánico<sup>27</sup>. De hecho, el reporte demuestra que la cinética de degradación en este ambiente anaeróbico se incrementa con el contenido orgánico<sup>27</sup>. Asimismo, el estudio prueba que la degradación aeróbica es mucho más lenta<sup>27</sup>. El ambiente anaeróbico reduciría el potencial oxido-reductor del suelo, que activaría a las bacterias anaeróbicas presentes en el medio, en tanto el mayor contenido orgánico facilitaría la

actividad de dichas bacterias al actuar como receptores de los electrones o hidrógenos que resultarían de la función bacteriana<sup>27</sup>. Es más, en condiciones anaeróbicas el incremento de DDD en el suelo aumenta el contenido bacteriano del suelo<sup>28</sup>, aunque es capaz de inhibir enzimas tan importantes como la deshidrogenasa<sup>28</sup>.

*Metabolitos, Isómeros y Enantiómeros.* El DDT puede metabolizarse a varios metabolitos, entre otros, al DDD y al DDE. Los tres compuestos además pueden presentarse en los isómeros p,p'- y o,p'. Finalmente, el isómero o,p'-DDT es un compuesto quiral que puede presentarse en los enantiómeros (+) y (-). Los enantiómeros tienen las mismas propiedades fisicoquímicas pero son biodegradados de manera diferente, por lo cual se convierten en excelentes monitores de este fenómeno<sup>29</sup>. Por ejemplo, en caso de una mezcla racémica recientemente aplicada, el cociente +/- sería de 1, pero después de una degradación bacteriana enantioselectiva, dicho cociente se podría incrementar o disminuir<sup>29</sup>. La relación de enantiómeros se conservaría en el aire y así se puede seguir el destino de los metabolitos provenientes del suelo<sup>29</sup>. No obstante lo anterior, existen suelos que no tienen degradación enantioselectiva. Un reporte de 17 suelos demostró enantioselectividad solamente en 11 suelos. Seis suelos fueron selectivos para el enantiómero (+) y cinco lo fueron para el (-)<sup>24</sup>.

### **3.2. COMPORTAMIENTO DE LA DELTAMETRINA EN EL SUELO**

La deltametrina se clasifica como un insecticida de persistencia moderada (vida media de 30-100 días)<sup>2</sup>, algunos autores señalan que su vida media promedio en suelo es de 35 a 42 días<sup>30</sup>. Pero en condiciones aeróbicas llega hasta los 72 días<sup>30</sup>. La temperatura óptima de degradación es de 25°C, la vida media se duplica a 40°C y a 10°C casi se cuadruplica<sup>30</sup>.

*Afinidad por Suelos.* La afinidad de la deltametrina por los suelos es alta y prácticamente puede considerarse un insecticida inmóvil<sup>23</sup>. Por lo cual, los factores de amortiguamiento como la fotólisis y la biodegradación resultan especialmente importantes. Se ha descrito que en columnas de suelo<sup>2</sup>, el 97% de la deltametrina permanece en los primeros 2.5 cm de la columna y un 2% más entre los 2.5 y 5.0 cm. Pero es más destacable el hecho de que en una columna de suelo arenoso, sujeta a extracción con agua equivalente a más de mil milímetros de lluvia, el 97% del insecticida se mantuvo en los primeros 2.5 cm de la columna y solamente un 2% fue recuperado en el eluído<sup>2</sup>. Es de esperarse que el porcentaje eluído fuere menor en una columna conteniendo suelos orgánicos.

*Fotólisis.* Se ha demostrado que la fotodegradación de los piretroides es más lenta en suelos orgánicos<sup>31</sup>. No obstante, en áreas con un alto promedio de luz solar (como en las zonas tropicales), la fotólisis podría participar en la degradación. Tres rutas se postulan para la fotodegradación de la deltametrina: la isomerización, la ruptura del enlace éster y la dehalogenación (recordemos que el insecticida contiene átomos de bromo)<sup>30</sup>.

*Volatilidad.* De acuerdo a su presión de vapor ( $1.5 \times 10^{-8}$  mm Hg), la deltametrina sería un compuesto de baja volatilidad<sup>30</sup>. Debido a lo cual, sería poco probable que la volatilidad fuere un factor de amortiguamiento para suelos contaminados con el insecticida. No obstante lo anterior, cuando la deltametrina se aplica por rociado, del 12% al 71% se pierde en las primeras 24 horas<sup>23</sup>. Pese a ello, se ha postulado que la pérdida del insecticida rociado sobre el suelo podría deberse a la fotodegradación y no a la volatilidad<sup>32</sup>. Considerando la presión de vapor, la volatilidad explicaría solamente el uno por ciento de la pérdida de deltametrina registrada experimentalmente<sup>32</sup>. La vida media de las formulaciones de deltametrina que son rociadas es 2 a 4 veces menor que las formulaciones que incorporan al insecticida al suelo<sup>23</sup>.

*Biodegradación.* Es muy importante establecer que el tiempo de degradación depende, entre otros factores, de la presencia de microorganismos y del tipo de suelo. Así por ejemplo, un 48% de la deltametrina se degrada en presencia de microorganismos, en tanto en suelos estériles dicha degradación alcanza apenas el 3%<sup>33</sup>. Por otro lado, la degradación fue más lenta en suelos orgánicos que en suelos minerales<sup>33</sup>. Lo cual podría explicarse por una mayor interacción del insecticida con las partículas de los suelos orgánicos y de esta manera se generarían complejos resistentes al ataque de los microorganismos. La degradación es menor en condiciones anaeróbicas<sup>30</sup>. Por lo cual, la ruta de degradación más importante sería la aeróbica que fundamentalmente sería una hidrólisis de la unión ester<sup>30</sup>.

*Isomerización.* Con respecto a la isomerización, hay que recordar que solamente un isomero de la deltametrina tiene actividad insecticida, por lo cual, cualquier acción que modificara al isómero original, como la fotodegradación o quizá alguna actividad microbiana, podría representar una menor toxicidad.

### **3.3. ESCENARIO DE EXPOSICIÓN**

La aplicación de los insecticidas en la parte externa de las paredes de las viviendas es la principal fuente de contaminación del suelo. Por ello, es de esperarse que la zona con mayor concentración sea la más próxima a las viviendas (sin embargo, para el caso particular del DDT, ver el siguiente párrafo). La volatilidad, la fotólisis y la biodegradación pueden aminorar la concentración de los insecticidas, pero debido a su alta afinidad por las moléculas del suelo, consideramos que en este escenario, el lavado del terreno en épocas de lluvias sería el principal factor de amortiguamiento.

El arrastre de las partículas contaminadas por acción de las escorrentías, lavaría al suelo superficial (zona con mayor cantidad de DDT y de deltametrina). No obstante, ello también implica la dispersión de la contaminación. El agua acarrearía el material rico en insecticidas a otros puntos de la comunidad, entre los cuales están incluidos los arroyos. Un escenario extremo lo representan los huracanes. En la costa de Chiapas, por ejemplo, el huracán "Paulina" no solamente lavó el terreno, sino que auténticamente produjo inundaciones que al final, modificaron de manera radical la topografía de la zona afectada. El suelo superficial de las comunidades afectadas por el huracán, hoy en día formaría parte del sedimento marino.

Debido a que el lavado del terreno es un fenómeno que se ha presentado todos los años en las zonas tropicales, es de esperarse que la concentración del DDT y de sus metabolitos haya disminuído rápidamente. A una velocidad mayor a la de su vida media. No obstante, ésto no implica una disminución del riesgo. Como veremos en otras secciones, el lavado del DDT del suelo solamente significa el transporte del insecticida de un medio a otro; es decir, traspasa los puntos de exposición.

El caso de la deltametrina es diferente, ya que, considerando su corta vida media, la aplicación será cada tres meses. Es decir, el frecuente rociado de la deltametrina permitiría la permanente presencia del insecticida. La degradación natural o el lavado del suelo por las corrientes de agua, podrían no ser factores suficientes para lograr la reducción de la concentración de la deltametrina.

### **3.4. INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS**

#### *Incertidumbres.*

- A. Debido a que a partir de este año, la deltametrina se aplicará cada tres meses, el rociado frecuente recuperará la pérdida de insecticida en los suelos superficiales próximos a las viviendas, causada por la degradación natural o el lavado en época de lluvia. De ser este el caso, se estaría permitiendo la permanente presencia de un insecticida que de manera normal es medianamente persistente. Ello generaría un esquema de exposición crónica, donde el grupo de mayor riesgo estaría representado por los niños que jugaran en las proximidades de la vivienda. Es decir, aquellos niños que por su corta edad no estuvieren adscritos a un centro escolar. Ante esta posibilidad, es necesario establecer la concentración real de deltametrina en el suelo superficial en las proximidades de la vivienda.
- B. Con respecto al DDT, lo primero que debe establecerse es su concentración actual. Por ejemplo, puede advertirse en la Tabla 2, los niveles obtenidos en una zona palúdica de San Luis Potosí. Estos valores, registrados durante 1998, pudieran no ser reales ahora. No tanto por la biodegradación, sino por el lavado del terreno. Es decir, después de una época de lluvias, la concentración exterior del DDT pudiera ser menor a la esperada si tan solo se toma en cuenta el factor biodegradación. Además, hay que verificar el nivel de degradación, mediante el análisis de la concentración de los principales metabolitos del DDT.

**TABLA 2. Niveles de DDT en Suelo Superficial Exterior (mg/kg)**

<b>LOCACION</b>	<b>DDE</b>	<b>DDD</b>	<b>DDT</b>	<b>DDE/DDT</b>
<b>Area Control</b>	<b>0.22</b>	<b>0.62</b>	<b>0.66</b>	<b>0.33</b>
<b>Area Palúdica</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>50</b>	<b>0.12</b>
<b>Sitio Contaminado-EUA<sup>12</sup></b>	<b>10</b>	<b>70</b>	<b>61</b>	<b>0.16</b>

*Muestreo.* En este caso es importante coleccionar muestras de suelo superficial a fin de establecer el nivel actual de contaminación. Sin embargo, también sería muy importante conocer la concentración histórica del sitio; lo cual podría investigarse mediante la cuantificación del DDT y de sus metabolitos, en muestras de suelo coleccionadas a diferentes niveles de profundidad. En caso de que el piso del interior de las viviendas fuere de tierra, sería muy interesante contrastar los hallazgos fuera y dentro de la vivienda. Suponiendo que las muestras al interior están protegidas del factor lluvia, la comparación interior/externo, podría dar un acercamiento a la importancia que tiene el lavado del suelo como factor de amortiguación y/o de la capacidad biodegradativa del suelo interior.

*Puntos de Muestreo.* Deben establecerse puntos de muestreo en las cercanías de las viviendas, donde se supone que se registra la máxima concentración. Asimismo, las muestras entre las viviendas y los cuerpos de agua superficial (cuando esto sea posible), podrían darnos idea del "arrastre" del DDT por las corrientes de agua. Finalmente, deben coleccionarse muestras en zonas control.

*Método de Análisis.* Tanto para la extracción de la muestra como para el análisis de los insecticidas existen varios métodos para la deltametrina<sup>34,35</sup>, y para el DDT<sup>36,37</sup>. En cuanto a la extracción, si bien el método tradicional brinda resultados satisfactorios, resulta muy largo al compararlo con los métodos modernos de extracción con horno de microondas o con equipo de extracción supercrítica. En lo referente al análisis, los métodos más utilizados son los cromatográficos, empleando detección por captura de electrones (de elección para el caso del DDT y sus metabolitos) o empleando el detector selectivo de masas (método alternativo para la deltametrina). No obstante, en el documento técnico que elaboraremos para detallar los métodos de análisis, describiremos las ventajas de utilizar los sistemas de electroforesis capilar.

## **4. AIRE**

### **4.1. COMPORTAMIENTO DE LOS INSECTICIDAS**

Debido a que tanto el DDT como sus principales metabolitos tienen un valor de la constante de la ley de Henry de  $10^{-4}$  /  $10^{-5}$  atm·m<sup>3</sup>mol, pueden considerarse compuestos semivolátiles<sup>12</sup>. Por consiguiente, tienen la capacidad de transportarse por aire, tanto en la fase gaseosa como adsorbidos a partículas atmosféricas<sup>12</sup>. En el aire, el DDT puede sufrir la fotólisis (degradación por la acción de la luz) y la fotodegradación (por interacción con radicales hidroxilo). A pesar de que en condiciones de laboratorio, ambos fenómenos son muy rápidos (por ejemplo, la fotodegradación tiene una vida media de dos días<sup>19</sup>), en la realidad, los procesos deben ser más lentos, ya que el compartimento aire participa en el transporte del DDT a grandes distancias.

Una de las razones por las cuales la degradación atmosférica del DDT no se da con rapidez es su remoción, fuere por precipitación húmeda o seca<sup>19</sup>. El DDT depositado

en el suelo o en el agua se volatilizaría y en la atmósfera, el insecticida adherido a partículas o en la fase gaseosa, se movería con las corrientes de aire, hasta ser depositado de nueva cuenta al suelo o a los cuerpos de agua, por la acción de la lluvia o por el peso de las partículas. Se ha demostrado que para algunos plaguicidas, las concentraciones en el aire es inversamente proporcional a la altura, registrándose la mayor concentración en los primeros 50m<sup>38</sup>. No obstante, el DDT se ha registrado a concentraciones tan altas como 800 m<sup>38</sup>. A solo tres años de la suspensión de su uso, los niveles en aire del DDT en zonas agrícolas tratadas ya había caído en un 92%<sup>12</sup>.

El caso de la deltametrina es un poco diferente al del DDT ya que su volatilidad es menor; y en consecuencia, destaca más su afinidad por el suelo. Por ejemplo, 75 horas después de aplicado en suelo, se había perdido solamente el 52%<sup>39</sup>. Aunado a lo anterior, la fotodegradación atmosférica de la deltametrina, ocasionada por su interacción con los radicales hidroxilo, es todavía más rápida que la del DDT (vida media de 10 horas)<sup>23</sup>. Por si ello no fuere suficiente, este insecticida se remueve con facilidad del compartimento aire por precipitación, húmeda o seca<sup>23</sup>, ya que también puede existir en la fase gaseosa o adherido al material particulado del aire<sup>23,40</sup>.

En consecuencia, el transporte atmosférico de la deltametrina pudiera ser muy pobre. Por ejemplo, durante una aplicación aérea de deltametrina, las concentraciones registradas a tan solo cuatro kilómetros del punto de aplicación, fueron seis veces menores a las registradas en éste<sup>23</sup>. Se ha demostrado que no existe una clara relación entre la concentración de algunos piretroides en muestras de suelo y su concentración en muestras de aire, colectadas en los mismos puntos de muestreo<sup>40</sup>.

## **4.2. INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS**

### *Incertidumbres:*

- A. Considerando la baja concentración de los insecticidas en aire, este compartimento ambiental pudiera no ser importante ruta de exposición en ambientes exteriores. Aunque es evidente su relevancia como medio de transporte a grandes distancias, pero solamente para el caso del DDT y sus metabolitos (ver adelante).
- B. En cuanto a ambientes interiores, la situación es diferente. La inhalación de aire contaminado podría ser muy importante para el caso de la deltametrina y sobre todo, en las primeras horas después del rociado.
- C. Con respecto al DDT primero habría que definir su concentración actual dentro de las viviendas que alguna vez fueron fumigadas. En caso de que la concentración fuere elevada, entonces podría postularse cierta volatilidad, aunque se desconoce la magnitud de este fenómeno en interiores. La luminosidad y la temperatura son menores. Además, se asume que el DDT ya estaría incorporado al suelo y se ha demostrado que la volatilidad en estas condiciones es menor.

*Muestreo.* Por todo lo anterior, sería de utilidad el cuantificar los niveles de los insecticidas en el interior de las viviendas que son rociadas con deltametrina y que alguna vez fueron fumigadas con DDT.

*Método.* Para la detección de contaminantes en interiores, uno de los métodos que podría emplearse es el monitoreo con bombas personales, utilizando cartuchos con resinas de elevada afinidad por compuestos orgánicos. Los insecticidas serían adsorbidos a la resina, la cual después en el laboratorio es extraída con solventes para su análisis por cromatografía de gases con los detectores adecuados (por ejemplo de captura de electrones para el caso del DDT y sus metabolitos, o de masas para el caso de la deltametrina).

## **5. AGUA**

Tanto el DDT como la deltametrina, pueden arribar a los cuerpos de agua superficial, adsorbidos a partículas de suelo<sup>22</sup>. Pueden llegar también, por la precipitación húmeda o seca de la atmósfera, por derrames accidentales y/o por la aplicación directa<sup>22</sup>. En las regiones palúdicas, el escenario más común sería la contaminación de los cuerpos de agua por el suelo que llega a ellos, gracias a las corrientes superficiales generadas durante la temporada de lluvias.

### **5.1. COMPORTAMIENTO DEL DDT EN EL AGUA**

Los siguientes serían los factores que más influyen en la desaparición del DDT y de sus metabolitos de los cuerpos de agua.

*Sedimentación.* Una vez que el DDT hubo arribado a los cuerpos de agua, lo primero que debe tomarse en cuenta es su baja solubilidad en este medio. Por ejemplo, el DDT tiene una solubilidad en agua de 3.4 ppb; el DDD de 160 ppb; y el DDE de 120 ppb<sup>12</sup>. Por consiguiente, uno de los primeros fenómenos que ocurren es la sedimentación del insecticida. Dicho fenómeno además, se facilita por su afinidad con las partículas de suelo. La sedimentación es entonces el principal mecanismo de amortiguación de los cuerpos de agua.

*Hidrólisis.* No existen evidencias de que bajo condiciones normales, la hidrólisis sea un fenómeno determinante.

*Fotólisis.* La fotólisis del DDT en soluciones acuosas es muy lenta, no obstante, existen sustancias que incrementan su cinética, hasta alcanzar una vida media de horas o a lo máximo, hasta seis días<sup>19</sup>. Este fenómeno sería característico de la superficie.

*Volatilidad.* En cuanto a la volatilidad, experimentos de laboratorio han mostrado que en doce días se pierde hasta un 50% del DDT, pero este porcentaje se redujo a cero cuando a la muestra de agua se le adicionó una muestra de sedimento<sup>19</sup>. La vida media de volatilidad se ha estimado en 45 horas a 1.0 m de profundidad<sup>19</sup>.



*Biodegradación.* La biodegradación en condiciones anaeróbicas puede ser muy importante. Por ejemplo, en muestras de lagos con alto contenido de plankton, un 95% del DDT sufrió transformación, en tanto, en muestras de río no ocurrió degradación alguna en dos meses<sup>19,41</sup>. Ahora bien, debe recordarse que la degradación no necesariamente significa detoxificación. En el caso de la degradación anaeróbica, el metabolito mayoritario es el DDD, que como veremos más adelante, también es tóxico. El DDD, a su vez, puede ser degradado a metabolitos menos tóxicos. Una prueba de la importancia de la degradación es un experimento que demostró un 50% de reducción del DDT en muestras de agua colectadas de una bahía, en tanto no se observó disminución alguna en muestras de agua estéril<sup>19</sup>. La vida media del DDT en agua de lago es de 56 días<sup>42</sup>. No es de esperarse la contaminación de los acuíferos por la alta afinidad del DDT a partículas de suelo.

## **5.2. COMPORTAMIENTO DE LA DELTAMETRINA EN EL AGUA**

Para la deltametrina los factores que amortiguarían su presencia en los cuerpos de agua serían: la sedimentación, la isomerización y la volatilidad. Estos factores disminuirían la vida media de la deltametrina en el agua<sup>23</sup>. Se ha calculado que la vida media del insecticida en un cuerpo de agua es de 1.5 a 5.1 horas en la superficie y de 13.6 a 16.7 horas en el agua subsuperficial<sup>30</sup>.

Es muy importante señalar que para la aplicación aérea de deltametrina se recomienda una zona de amortiguamiento de 100 m alrededor de los cuerpos de agua<sup>30</sup>. Por otro lado, la contaminación de acuíferos sería un evento raro dada la alta afinidad de la deltametrina por el suelo. No obstante, algunas formulaciones comerciales incluyen surfactantes y agentes emulsificantes que podrían favorecer el transporte de la deltametrina hasta los cuerpos subterráneos de agua<sup>30</sup>.

*Sedimentación.* La solubilidad de la deltametrina es solamente de 2.0 microgramos por litro<sup>23</sup>. En consecuencia, la sedimentación ocurre rápidamente una vez que el insecticida se adentra en el cuerpo de agua. Además, su alta afinidad por los suelos ocasiona su adsorción al material particulado presente en ríos, lagunas, costas, etc<sup>23</sup>. La deltametrina inyectada al agua tiene una vida media de 5-60 días<sup>23</sup> y gran parte de su desaparición se debería al fenómeno de sedimentación.

*Hidrólisis.* La deltametrina es un compuesto sumamente resistente a la hidrólisis en medio ácido. Pero en medios alcalinos, el fenómeno es un importante factor de degradación<sup>23</sup>.

*Isomerización.* Tomando en cuenta que la actividad insecticida de la deltametrina se presenta solamente en uno de ocho isómeros posibles<sup>30</sup>, cualquier cambio en el isómero activo representa una reducción del riesgo. Se ha demostrado que la luz del sol favorece la isomerización y algunas sustancias como los pigmentos la fomentan aún más<sup>30</sup>.

*Volatilidad.* Este fenómeno se presenta solamente en la superficie del agua. Por ejemplo, después de una aplicación directa mediante fumigación efectuada en obscuridad y a una muestra de agua estéril, se demostró que la vida media de la deltametrina es de 2.5 horas y que 70% del material aplicado se perdió por volatilidad<sup>43,44</sup>. En dicho estudio, la vida media de la deltametrina cuando fue inyectada al agua fue de dos días<sup>43,44</sup>. El valor de la constante de la ley de Henry para la deltametrina en agua es de 95 torr L/mol, lo cual le confiere al insecticida una capacidad de volatilidad de baja a media desde el agua<sup>30</sup>.

### **5.3. ESCENARIO DE EXPOSICIÓN**

Los individuos de las comunidades palúdicas podrían exponerse a los cuerpos de agua contaminados por los insecticidas a través de diversas rutas: (A) ingesta de agua; (B) contacto con el agua en actividades recreativas; (C) contacto durante actividades de limpieza (personal o lavado de ropa); (D) contacto con el agua en actividades de pesca o en la siembra de peces; y (E) contacto con el agua durante la preservación de áreas naturales (por ejemplo, en una comunidad palúdica observamos que la principal fuente de empleo era la preservación de un manglar, por lo cual, los habitantes tenían que realizar constantes limpiezas). El contacto con el agua podría generar la exposición dérmica a la deltametrina y/o la ingesta accidental de ambos insecticidas.

### **5.4. INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS**

*Incetidumbres.*

- A. Los niveles de deltametrina deben ser cuantificados en los cuerpos de agua presentes en las zonas palúdicas. Sin embargo, hay que tomar en cuenta los siguientes puntos: (a) que los niveles de deltametrina en agua no son muy altos (por ejemplo, en una poza de agua localizada en una zona de aplicación de deltametrina, las concentraciones del insecticida alcanzaron hasta 50 ng/L, cuando se respetaron la zona de amortiguamiento<sup>30</sup>); (b) que la vida media de la deltametrina es muy corta; y (c) que si bien del agua, la deltametrina puede desaparecer con rapidez, en los sólidos suspendidos las concentraciones pueden llegar a niveles tan altos como los 85 mg/kg<sup>30</sup>.
- B. Tomando en cuenta la persistencia del DDT, será de suma importancia cuantificar los niveles de este insecticida, además, habrá que determinar las concentraciones de los metabolitos, cuando menos el DDD y el DDE. Sin embargo, no puede ignorarse que otro de los metabolitos, el DDA, es uno de los más abundantes en sitios impactados por el DDT<sup>45</sup>. No obstante, es claro que la toxicidad del DDA puede ser inferior a la de otros metabolitos. Recordemos que el DDA es un metabolito hidrosoluble que por ejemplo, en el humano, es el metabolito que aparece como producto de excreción en la orina<sup>12</sup>. Las concentraciones alcanzadas en un arroyo que atraviesa una comunidad palúdica se presentan en la Tabla 3 y se comparan estos datos contra valores alcanzados en ríos y agua de mar.

- C. Se ha demostrado que los sedimentos pueden ser una fuente constante de DDT para los cuerpos de agua<sup>46</sup>. En consecuencia, en el área de estudio, deberán determinarse los niveles de DDT en las costas que pudieren estar recibiendo la mayor cantidad de sedimentos provenientes de las zonas palúdicas.

**TABLA 3. Niveles de DDT en Agua Superficial ( $\mu\text{g/L}$ ).**

LOCACION	DDE	DDD	DDT
Area Control	nd	nd	nd
Area Palúdica	10	30	240
Valor Referencia OMS			2

Niveles de DDT en el Río Nilo 11.60  $\mu\text{g/L}$ ; nivel promedio en los ríos de Estados Unidos 0.03  $\mu\text{g/L}$ ; y en el Mar Mediterráneo 9.00  $\mu\text{g/L}$ <sup>19</sup>; (nd) no detectado.

*Muestreo.* Para la detección de la deltametrina en cuerpos de agua, habrá que realizar los monitoreos inmediatamente después de la aplicación del insecticida. Los análisis deberán considerar la presencia de las partículas suspendidas. Las muestras deben colectarse en frascos de vidrio ámbar, previamente lavados con ácidos y agua desionizada<sup>47</sup>. El almacén y el transporte deben darse en hielera, manteniendo las muestras bajo refrigeración<sup>47</sup>. En el caso del DDT habrá que evaluar su concentración tanto en la fracción soluble como en las partículas suspendidas.

*Método de Análisis.* Para la deltametrina se han reportado métodos de extracción con hexano, petróleo eter/dietil-eter, diclorometano o acetona<sup>2,30</sup>. La extracción es seguida por limpieza utilizando fases sólidas con alumina, florisil ó gel de silica<sup>2,30</sup>. En tanto la lectura se realiza con Cromatografía de gases empleando un detector de captura de electrones; aunque también podría utilizarse la cromatografía líquida de alta precisión (HPLC)<sup>2,30</sup>. Se han reportado recobros de 88 a 115% y límites de detección hasta de 0.1 ng/L<sup>30</sup>. Para otros piretroides, se ha reportado un método con extracción en fase sólida (C-18), eluyendo con etilacetato<sup>47</sup> y analizando con cromatografía de gases usando un detector de conductividad electrolítica<sup>47</sup>.

Para DDT, el método de la EPA se basa en una extracción con un solvente que se selecciona dependiendo del medio de la muestra. El solvente se intercambia por hexano y se realiza una limpieza con florisil<sup>12</sup>.

## **6. SEDIMENTOS**

Tanto el DDT como la deltametrina, tienen una alta afinidad por los sedimentos. En consecuencia, la unión a las partículas suspendidas y la propia sedimentación, son factores que disminuyen la concentración de los insecticidas en la fase soluble de los cuerpos de agua.

### **6.1. COMPORTAMIENTO DEL DDT EN SEDIMENTOS**

Los siguientes factores disminuyen la concentración del DDT y de sus metabolitos en los sedimentos.

*Transporte.* Se ha demostrado que el DDT y sus metabolitos son capaces de moverse de un sitio a otro por la acción de las corrientes<sup>46</sup>. El fenómeno de transporte de sedimentos causa que las moléculas de DDT se distribuyan a toda una región desde un punto de máxima contaminación. Aunado a lo anterior, el transporte desde los sedimentos hasta los cuerpos de agua se realiza mediante dos mecanismos: la difusión (desadsorción) y la suspensión de partículas. Un estudio efectuado en costas de California, demostró que la concentración de DDT va decreciendo desde los sedimentos hasta la superficie del cuerpo de agua, tanto en su forma soluble como adsorbido a las partículas suspendidas<sup>46</sup>. Ello sería una prueba de que los sedimentos contaminados son fuente de contaminación para los cuerpos de agua y entre más cerca se esté de los sedimentos mayor será el riesgo. Debe recordarse que el DDT soluble o en partículas pequeñas está más biodisponible. En las profundidades, la concentración de DDT soluble es semejante a la concentración de DDT adherido a las partículas, pero en la superficie, la cantidad de DDT soluble es mayor a la del DDT particulado<sup>46</sup>.

*Biodegradación.* En condiciones de inundación, la degradación del DDT en suelos se incrementa de manera importante<sup>12</sup>. Por lo tanto, se supone que la degradación del DDT en sedimentos es un fenómeno de suma importancia y además, ésta sería una degradación anaeróbica, cuyo resultado sería sobre todo, la formación del DDD<sup>12</sup>. El DDD sigue una ruta adicional de degradación, en tanto el DDE es más resistente<sup>19</sup>. No obstante, recientemente se ha logrado demostrar, en condiciones de laboratorio, una dechloración del DDE<sup>48</sup>. Estos experimentos que son excitantes, porque significarían que en la naturaleza existe una ruta de degradación para el DDE, han sido puestos en duda por otros autores debido a las condiciones en que fueron realizados los estudios<sup>49</sup>.

La racional que apoya el cuestionamiento, es que los datos reales aportan evidencia diferente a los resultados obtenidos en condiciones de laboratorio. Así, en un sitio marino cercano al área de Palos Verdes, California, en los Estados Unidos, el sedimento se contaminó con grandes cantidades de DDT y después de 20 años del evento, todavía las concentraciones del DDT y metabolitos se encuentran en magnitudes que pudieren ser tóxicas para los organismos bentónicos<sup>49</sup>. Esta realidad

se enfrenta a los estudios de laboratorio que demostraron la degradación del DDE, pero bajo condiciones diferentes. Una de las cuales se refiere a que la temperatura utilizada en el laboratorio fue mayor a la que normalmente se registra en el fondo del mar<sup>49</sup>. Además, cuando en el estudio se incluyó sulfato en el medio (tal y como ocurre en la realidad), la degradación se obtuvo con una cinética más lenta<sup>48</sup>. Al factorizar los resultados, se demuestra que las condiciones óptimas de degradación del DDE en el laboratorio dieron como resultado una degradación con vida media de 17 semanas<sup>49</sup>, al incluir el sulfato la vida media se calcula en alrededor de tres años<sup>49</sup> y si la temperatura baja es incluida en el modelo, entonces la vida media de biodegradación natural del DDE sería de seis años<sup>49</sup>. Pero además, estos resultados no podrían aplicarse a todos los puntos de un mismo sitio contaminado. En Palos Verdes, la concentración de DDT y de sus metabolitos varía de un punto a otro<sup>46,49</sup>.

Otro factor que afectaría la cinética de degradación es la adsorción. Se ha demostrado con otros compuestos organoclorados, que la biodegradación disminuye de acuerdo a la capacidad de adsorción de los insecticidas a las partículas de sedimento<sup>50</sup>.

*Dilución.* Se ha demostrado que los suelos acarreados por las corrientes son capaces de diluir las concentraciones de DDE presentes en los sedimentos, pero al mismo tiempo, se incrementan las concentraciones del DDD<sup>51</sup>.

## **6.2. COMPORTAMIENTO DE LA DELTAMETRINA EN SEDIMENTOS**

*Transporte.* Aunque no se encontraron reportes para el caso de la deltametrina, se ha demostrado que para el fenvalerato, otro insecticida piretroide, el movimiento vertical en los sedimentos depende del contenido orgánico<sup>52</sup>. A un menor contenido orgánico, le corresponde una mayor saturación y por consiguiente, mayor movimiento vertical. Aunado a lo anterior, también se reporta una difusión hacia el agua, aunque la cantidad difundida es muy pequeña, solamente representa el 4% del material incluido en el sedimento<sup>52</sup>.

*Biodegradación.* La vida media de la deltametrina en los sedimentos podría ser muy corta ya que se ha reportado una reducción de más del 50% en cinco días<sup>30</sup>. No obstante lo anterior, en una poza se encontraron valores de 3-5 ng/g después de 306 días del tratamiento con el insecticida<sup>30</sup>. Esto podría deberse a que la resistencia de la deltametrina para la degradación es mayor en ambientes anaeróbicos<sup>2,30</sup>.

## **6.3. ESCENARIO DE EXPOSICIÓN**

La presencia de los insecticidas en los sedimentos tiene tres aspectos importantes, en cuanto a riesgo: (A) son fuente de contaminación para los cuerpos de agua; (B) son fuente de toxicidad para los organismos acuáticos, tanto a nivel de los sedimentos como de las partículas suspendidas; y (C) en condiciones de inundación los sedimentos pueden contaminar a los suelos impactados por el fenómeno.

## 6.4. INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS

### *Incertidumbres.*

- A. En cuanto al DDT, será muy importante analizar los niveles del insecticida y de sus metabolitos. Ya que si bien en Egipto<sup>53</sup> y Brasil<sup>54</sup> los niveles más abundantes fueron los de DDE, en Vietnam<sup>55</sup> los resultados indicaron concentraciones similares para DDT, DDD y DDE. Las concentraciones registradas también fueron variables. En diferentes regiones<sup>12,53-55</sup>, incluyendo México<sup>56</sup>, se han reportado valores desde los no detectables hasta los 500 ppb; pero en sitios de máxima contaminación, por ejemplo gradiente debajo de un fabrica manufacturera, se han detectado valores tan altos como 2,730 ppm<sup>12</sup>.
- B. Los datos de biodegradación en diferentes sedimentos son muy variables. Por ejemplo, el DDT en sedimentos japoneses tuvo una vida media una orden de magnitud mayor que en sedimentos egipcios<sup>57</sup>. Además, dentro de la misma región egipcia, las vidas medias del DDT variaron. De hecho, en algunos puntos el p,p'-DDT fue más resistente que el o,p'-DDT y en otros puntos, lo contrario fue cierto<sup>57</sup>. En consecuencia, es importante evaluar la degradación en distintos sedimentos, buscando no generalizar datos con los resultados de uno solo sitio.
- C. La cuantificación de los metabolitos es útil para definir procedencias y tipo de degradación. En Filipinas por ejemplo, cuando se estudió el contenido de metabolitos en suelos agrícolas, suelos de un relleno sanitario y sedimentos de un río, se encontró que en todos los casos el DDE fue el metabolito más abundante, el DDT presentó su máxima concentración en los suelos del relleno sanitario y el DDD registró su nivel más alto en los sedimentos del río<sup>58</sup>. Esto último posiblemente, como consecuencia de la biodegradación
- D. Los reportes sobre los niveles de deltametrina en sedimentos son limitados. Por lo tanto, será muy importante evaluar la concentración del insecticida en este medio. Los análisis deberán efectuarse con frecuencia para tratar de definir la cinética de degradación. El resultado particularmente es importante si tomamos en cuenta que serían los primeros datos reportados en ambientes tropicales. Esto es, se apuntó que la degradación de la deltametrina es menor en ambientes anaeróbicos y más baja aún en presencia de material orgánico. Es de esperarse que ambas condiciones se cumplan en los sedimentos tropicales.

*Muestreo.* Por su alta afinidad a las partículas, es muy importante cuantificar los niveles de los insecticidas en muestras de agua sin filtrar. Asimismo, el muestreo del sedimento superficial es lo más importante ya que es la zona que se espera esté más contaminada. El muestreo debe realizarse tomando en cuenta el tiempo de la última aplicación y la posible dilución, o contaminación, por el arrastre de suelo desde tierra firme hasta el cuerpo de agua en época de lluvias.

*Método de Análisis.* El método de análisis puede ser similar al del suelo. Utilizando los métodos de extracción y de análisis ya descritos.

## **7. BIOACUMULACIÓN**

La bioacumulación puede ser definida como un aumento en la concentración de un químico en un organismo a través del tiempo, comparada con la concentración del mismo químico en el ambiente<sup>59</sup>. Este fenómeno se da como resultado de un almacenamiento más rápido que la degradación.

Algunos autores refieren bajo el término de bioconcentración al incremento del químico en un organismo sobre la cantidad del químico presente en forma disuelta en aire o agua<sup>59,60</sup>. En todo caso bajo el concepto de bioacumulación se incluye el de bioconcentración. En esta sección ambos conceptos se manejarán como sinónimos.

Por su parte, la biomagnificación es la acumulación del químico a concentraciones mayores en un organismo que en su fuente alimenticia<sup>59</sup>. El término describe el incremento de la concentración de los químicos a través de diversas transferencias tróficas. Así por ejemplo, en un sitio las concentraciones de DDT alcanzaron: en suelo 100 mg/kg, en gusano de tierra 141 mg/kg y en un petirrojo 444 mg/kg<sup>59</sup>.

### **7.1. BIOTA ACUÁTICA Y DDT**

La alta Kow también refleja la lipofilicidad del DDT. Esto implica que el insecticida y sus metabolitos son compuestos capaces de ser bioacumulados en los seres vivos. De hecho, el factor de bioconcentración del DDT para la trucha arcoiris es 51,335<sup>11</sup>. Además, la bioacumulación y la persistencia del DDT, son factores que facilitan la biomagnificación del insecticida<sup>11</sup>. Por ejemplo, se ha reportado una biomagnificación para el DDE de 28.7 veces entre el plancton y los peces<sup>12</sup>.

En el Valle de San Joaquín, California, para ciertas especies de almejas, la concentración del DDT en sedimento correlaciona muy bien con la concentración del DDT en tejidos<sup>61</sup>. Esto pudiera deberse a que las almejas son organismos filtradores. No obstante, en esta área el sedimento podría no ser la única fuente para dichos seres vivos ya que en algunos puntos, a pesar de no encontrarse DDT en los sedimentos si se encontró en los tejidos<sup>61</sup>.

Además, en otros puntos de muestreo, se encontró una mayor concentración de DDT en los sedimentos que en los tejidos, lo cual hace sugerir la presencia de factores que disminuirían la biodisponibilidad del DDT<sup>61</sup>. La cuantificación de los isómeros, no pudo explicar el hallazgo.

El estudio del Valle de San Joaquín también mostró que en las almejas, la disminución del DDT después de eliminado su uso, no ha sido parejo en los puntos muestreados, ya que mientras en algunos puntos, de 1985 a 1992 el DDT disminuyó en estos organismos hasta 4.5 veces, en otros puntos, el DDT se mantuvo en un mismo nivel<sup>61</sup>.

**TABLA 4. Niveles de DDT y Metabolitos en Tejido Muscular de Peces (ng/g).**

PAIS	Nombre	p,p'-DDT	p,p'-DDD	p,p'-DDE	DDT Total	Referencia
Brasil *	Carpa	--	--	--	10.4	54
Brasil *	Tilapia	--	--	--	13.5	54
Egipto	Sardina	2.5	19.0	28.0	49.5	62
Egipto	Tilapia	0.07	2.0	6.4	8.5	62
Rep. Checa	Perca	0.5	4.3	21.8	26.6	63
Rep. Checa	Carpa	1.4	19.9	57.6	78.9	63
Hong Kong	Tilapia	6.2	16.3	17.6	40.1	64

\* Los datos de Brasil son los reportados para épocas de secas. El músculo de la carpa es más graso que el de la perca.

En la Tabla 4 se presentan los resultados considerando solamente a los isómeros p,p'- que por lo general son los más abundantes. Sin embargo, existen algunos puntos relevantes. Por ejemplo, en biota de lagos en el Artico, se encontró una mayor concentración de o,p'-DDT que de p,p'-DDT, tanto en hígado como en músculo<sup>65</sup>. Un punto importante, es que los autores de este reporte refieren que las concentraciones del DDT y de sus metabolitos en la biota estudiada del Artico son menores a las reportados en partes mas templadas. En las truchas del Lago Michigan, las concentraciones resultaron ser 100 veces mayores a las registradas en las truchas del Artico<sup>65</sup>. En un estudio con delfines en Grecia, el isómero o,p'-DDT se encontró en concentraciones mayores al p,p'-DDT en corazón, pero una relación opuesta se registró en hígado, riñón y tejido adiposo<sup>66</sup>. En Egipto, un reporte de los niveles en músculo de cuatro especies de peces, solamente mostró en las sardinas, mayores niveles de o,p'-DDT sobre los de p,p'-DDT<sup>62</sup>. En conclusión, los isómeros o,p'- pueden llegar a representar un alto porcentaje del DDT total.

Los diferentes hábitos alimenticios también impactan en el contenido. Así, en la perca se reportó una concentración total de DDT de 7.7 mg/kg (máximo 22.3 mg/kg) en el tejido adiposo<sup>63</sup>. En tanto en la carpa el total DDT en tejido adiposo fue de 5.1 mg/kg (con un máximo de 9.6 mg/kg)<sup>63</sup>. La carpa es omnívoro y la perca es depredador, lo cual explicaría el doble de DDT encontrado cuando se comparan los valores máximos. En Jordania, se analizaron peces que habitan en las profundidades y en la superficie, hubo una tendencia a que los primeros tuvieran mayores niveles de DDT que los segundos, con una concentración máxima de 7.9 mg/kg entre los de las profundidades y una de 2.5 mg/kg entre los de la superficie<sup>67</sup>.



Otro aspecto que tiene que ver con la bioacumulación, por supuesto que es la exposición. En las zonas palúdicas de México, los peces de las zonas costeras tuvieron las mayores concentraciones de DDT y de sus metabolitos<sup>68</sup>. Entre los factores que afectan la bioacumulación, está la capacidad de adsorción del DDT en las partículas suspendidas, y quizá ello sea una explicación de que distintos autores hayan calculado diferentes valores de factores de bioconcentración en organismos de la misma especie en diferentes áreas de estudio<sup>19</sup>. No obstante, para los organismos que viven en las profundidades, se ha demostrado que las partículas sedimentadas son una fuente importante de organoclorados<sup>69</sup>.

La transferencia trófica puede ser muy eficaz, por ejemplo, las truchas en el Lago Michigan retienen hasta el 80% de los PCBs que están contenidos en sus fuentes alimenticias<sup>70</sup>. Este porcentaje es similar al 70% que se ha calculado en focas para el caso del DDE<sup>71</sup>. No obstante, también se ha demostrado que para la biomagnificación, la posición trófica solamente es importante si también se incluye el incremento en el contenido lipídico<sup>69</sup>. Finalmente, algunos metabolitos del DDT pueden tener factores de bioacumulación diferentes al compuesto original. Tal es el caso del DDEms. Se ha demostrado que en la cadena alimenticia bacalao-foca-oso polar, el bacalao no lo sintetiza, la foca si lo hace y que el factor de bioacumulación oso grasa/foca grasa del DDEms es de 5.4 y es ocho veces superior al factor de bioacumulación del DDT total<sup>71</sup>.

## **7.2. BIOTA TERRESTRE Y DDT**

Por otra parte, también deben tomarse en cuenta los resultados obtenidos en plantas. Se sabe que a pesar de la alta afinidad del DDT por el suelo, el insecticida y sus metabolitos son biodisponibles para las plantas. Así, el arroz y el maíz pueden absorber DDT, aunque la mayor proporción queda en las raíces<sup>12</sup>. En tanto en hierbas de estanques, el factor de bioacumulación de DDT puede llegar a valores tan altos como 6360<sup>19</sup>.

Con respecto a los isómeros, no es raro que las concentraciones de DDT sean superiores a las de DDE en suelo superficial. Lo anterior, como resultante de la mayor volatilidad del DDE (la presión de vapor del metabolito es ocho veces mayor a la del DDT). Así como la volatilidad solamente se da en la primera superficie del suelo, la fotodegradación también es particular a los primeros 0.15 mm de suelo<sup>72</sup>. Ello implica que terminada la exposición, y con el paso del tiempo, habría más concentración de contaminantes después del medio centímetro de suelo, que en la superficie del mismo. Por otra parte, esta misma volatilidad del DDE, ocasiona su asociación a pastos y ello origina una mayor concentración de DDE en leche de vaca<sup>72</sup>. Pero además, del pasto, la sola presencia del DDT en suelo ya es un riesgo para el ganado. Las vacas ingieren un promedio de suelo de 900 g/día, en tanto los borregos ingieren 45 g/día<sup>72</sup>. Es claro que estos valores pueden disminuir si el ganado es alimentado artificialmente.

La asociación con los pastos no es única, se ha demostrado que los compuestos semivolátiles, como el DDT y sus metabolitos, pueden acumularse en la superficie cerosa de la cutícula de las hojas<sup>72</sup>. Aprovechando esta característica, recientemente se ha utilizado la concentración de contaminantes en las hojas en espina de los pinos para el monitoreo ambiental del DDT y sus metabolitos<sup>73-75</sup>. En compuestos con un log

$Kow > 5.0$  el mecanismo más importante sería la volatilidad y la bioacumulación en plantas por el fenómeno de intercepción<sup>72</sup>. Por el contrario, se ha demostrado una correlación inversa entre el log  $Kow$  y el factor de bioconcentración (planta/suelo)<sup>72</sup>.

La bioacumulación en plantas por medio de las raíces depende de la concentración del contaminante en el suelo, de la capacidad de movimiento de este contaminante a través del suelo y de la cinética de desaparición. La capacidad de movimiento podría verse disminuída por la afinidad con las partículas de suelo, pero en este caso, podría verse incrementada en caso de que a dicho suelo se le aplicara alguna sustancia que disminuyera la interacción entre los químicos y las partículas de suelo; un derrame de petróleo sería un ejemplo de lo anterior<sup>72</sup>. En cuanto a la cinética de desaparición hay que tomar en cuenta los fenómenos de fotólisis, biodegradación, volatilidad, etc., los cuales ya fueron revisados en secciones anteriores.

En cuanto al DDT en fauna terrestre la bioacumulación también es un fenómeno que debe considerarse como importante. El siguiente ejemplo, ya presentado en esta sección es clásico: en un sitio cuyas concentraciones de DDT alcanzaron en suelo 100 mg/kg, los niveles del insecticida en gusano de tierra llegaron a 141 mg/kg y en un petirrojo a 444 mg/kg<sup>59</sup>.

### **7.3. BIOACUMULACIÓN DE LA DELTAMETRINA**

La bioacumulación de la deltametrina no es muy importante por la corta vida media y la baja biodisponibilidad del insecticida (dada como consecuencia de su afinidad por las partículas de suelo)<sup>2</sup>. No obstante lo anterior, algunos peces llegan a factores de bioacumulación de 972 en vísceras, 30 días después de la exposición<sup>2</sup>. Valor que es alto en términos absolutos pero que en concentración es mínimo, ya que en dicho reporte se demostró que el 86% de la deltametrina había desaparecido a los 14 días<sup>2</sup>.

Existen plantas acuáticas que acumulan deltametrina pero rápidamente la eliminan. Por ejemplo, en un estanque experimental, donde la deltametrina fue aplicada a una concentración de 2.5 µg/L, las plantas acumularon hasta 1.0 ppm, pero dos semanas después el insecticida había desaparecido<sup>2</sup>. Los pececillos tuvieron un factor de bioconcentración de 248-907 mas no se observó efecto alguno<sup>2</sup>. En *Daphnia* se han encontrado factores de bioconcentración de 200 a 1300<sup>23</sup>.

### **7.4. ESCENARIO DE EXPOSICIÓN**

La exposición como consecuencia de la bioacumulación y/o de la biomagnificación es por vía oral, cuando estos fenómenos impactan en la cadena alimenticia del hombre. Como sería el caso de la ingesta de pescados o leche de vaca con altos contenidos de DDT. No obstante, cuando menos en teoría, la bioacumulación de la deltametrina también sería un riesgo, siempre y cuando la ingesta de los alimentos contaminados se efectuara en un periodo inmediato posterior a la aplicación del insecticida.

## 7.5. INCERTIDUMBRES Y MÉTODOS

### *Incertidumbres.*

- A. Si bien es cierto que durante la época de lluvias es más probable la contaminación de los cuerpos de agua, debido al acarreo del suelo por las corrientes superficiales; también es cierto que un reporte originado en Brasil, demostró que la concentración de los organoclorados en peces capturados durante la época de estiaje es mayor a la concentración encontrada durante la época de lluvias<sup>54</sup>. Los autores explican este dato por la diferencia en contenido lipídico de los peces entre una y otra épocas. En consecuencia, habría que evaluar la concentración de insecticidas durante las lluvias y el estiaje, tomando en cuenta que para la deltametrina el muestreo debería levantarse uno o dos días después de la aplicación.
- B. Para el caso del DDT y de sus metabolitos, habría que cuantificar los isómeros p,p'- y los isómeros o,p'-. En algunas especies, los isómeros o,p'- llegan a representar hasta la mitad del DDT total<sup>67</sup>. En tanto, en otras como las sardinias alcanzarían a ser un 28% del total y en tilapia apenas un 5%<sup>64</sup>.
- C. En cuanto a los propios metabolitos del DDT, es claro que se tienen que cuantificar el DDD y el DDE. No obstante, también sería afortunado buscar en mamíferos la cuantificación del DDEms. Esto debido a dos razones: es el metabolito que en el Artico ha mostrado tener el mayor factor de bioacumulación y además, es tóxico (ver sección de efectos en salud)<sup>71</sup>.
- D. Recientemente se ha demostrado la acumulación tisular enantioselectiva de el hexaclorociclohexano en algunas especies acuáticas<sup>76</sup>. Tomando en cuenta que este compuesto es también un insecticida organoclorado, un tema de investigación podría ser el estudio de la acumulación enantioselectiva del o,p'-DDT. Recordemos que al menos un reporte indica que el enantiómero (-) es más estrogénico que el o,p'-DDT como enantiómero (+)<sup>77</sup>.
- E. La cuantificación tendría que hacerse en peces de distintos hábitos alimenticios y pertenecientes a diferentes regiones (superficiales y profundos).
- F. En cuanto a plantas, sería interesante detectar los insecticidas en pastos y en hojas de árboles o en algún material ceroso que pudiera interceptar a los insecticidas semivolátiles. De esta forma tendríamos una perspectiva de la acumulación del DDT y de la deltametrina en rutas de exposición que involucran el fenómeno de la volatilidad.

*Muestreo.* Se tendría que cuantificar los insecticidas en las épocas de estiaje y de lluvias. Tomando en cuenta diferentes regiones impactadas por las campañas públicas en contra del paludismo. En los suelos habría que monitorear la acumulación en pastos sobre todo las zonas de pastoreo. En los cuerpos de agua tendrían que determinarse en peces con diferentes hábitats y finalmente, para considerar la bioacumulación aérea habría que analizar estructuras cerosas de los árboles de la región.

*Método de Análisis.* En peces habrá que analizar la concentración de deltametrina ya que la pregunta que buscamos contestar es el nivel de bioacumulación. Si el cuestionamiento fuera el nivel de exposición, buscando un efecto ecotoxicológico, la prueba a analizar sería la concentración de los metabolitos. Habría que buscar al insecticida cuando menos en músculo y tejido adiposo, utilizando las técnicas convencionales de cromatografía de gases.

Con respecto al DDT, habrá que cuantificar al insecticidas y a sus metabolitos tóxicos tanto en los isómeros o,p'- como en los p,p'. Utilizando los estándares adecuados, los métodos tradicionales de cromatografía de gases con detector de captura de electrones.

Debido a las diferente matrices que este capítulo contempla (tejidos biológicos, pastos, ceras vegetales, etc.); sería interesante evaluar al horno de microondas como un método generalizado de extracción.

## **8. ESCENARIO TROPICAL**

En 1955, la Organización Mundial de la Salud inició un programa global para la erradicación del paludismo. En 1958, 75 países se adscribieron al mismo y durante el primer lustro de los años 60s, en el pico del programa, alrededor de 70 mil toneladas de DDT fueron aplicadas cada año<sup>3</sup>.

A partir de los años 70s el uso del DDT disminuyó de manera importante, por un lado porque fue prohibido en algunos países y por otro lado, comenzaron a aparecer mosquitos resistentes a él<sup>3</sup>. No obstante, países como México mantuvieron el uso del insecticida aunque en forma restringida y aplicándolo solamente en aquellas viviendas cuyos habitantes presentaron síntomas de paludismo.

En la actualidad, el empleo de piretroides va en aumento y por ejemplo, en los programas de prevención de la Organización Mundial de la Salud, uno de los métodos más recomendados es la impregnación de pabellones con estos insecticidas<sup>78</sup>.

El paludismo, es un padecimiento típico de áreas tropicales. En muchos países, ello significa zonas marginadas ubicadas en áreas geográficas ricas en suelo orgánico, con lluvia abundante, con numerosos cuerpos de agua y con períodos prolongados de sol y de altas temperaturas. Es decir, todos los elementos se encuentran disponibles para que los insecticidas se transporten de un medio ambiental a otro.

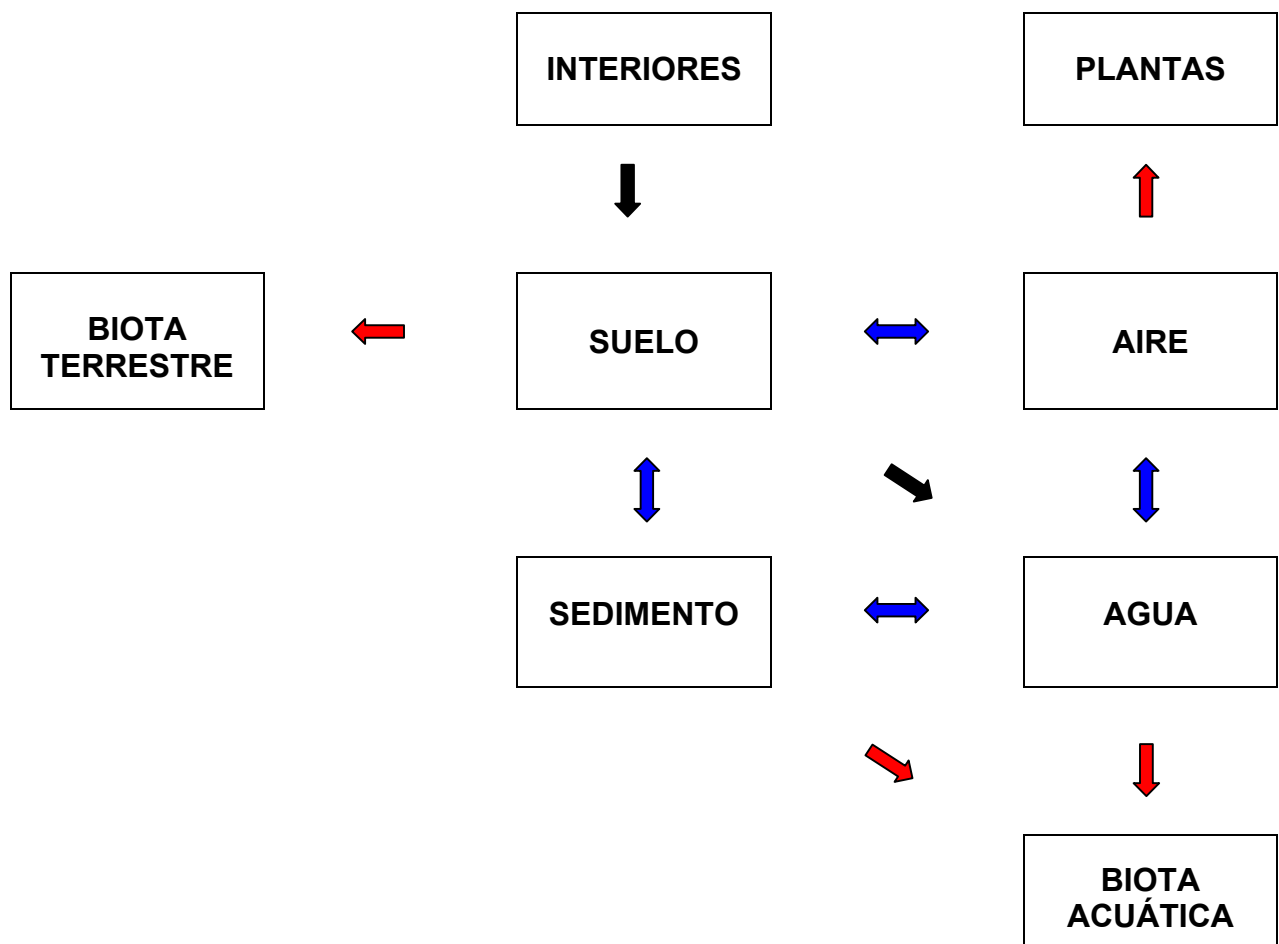
Datos obtenidos en Africa<sup>79,80</sup>, Asia<sup>81</sup> y en América (Frontera entre México y Estados Unidos)<sup>82</sup>, demuestran la capacidad de movimiento de los insecticidas a través de suelo, agua, sedimentos, aire, alimentos y biota. Por ejemplo, en América<sup>82</sup>, el 90% de los estudios efectuados en aves, mamíferos y reptiles, demostraron resultados positivos para DDT y/o sus metabolitos. Asimismo, más del 80% de los estudios reportaron datos en peces y sedimentos<sup>82</sup>. En cuanto a agua, únicamente el 50% de los

estudios encontraron datos positivos, pero recordemos que el DDT es poco soluble en este medio.

En fin, los estudios Africanos, Asiáticos y Americanos tienen una constante, el DDT y sus metabolitos se encuentran en todos los medios. Además, si bien se ha observado una disminución importante en la frontera mexicano-estadounidense (donde el DDT fue utilizado para el algodón); en otras regiones como la Asiática, donde se ha empleado para el control del paludismo, los niveles de este insecticida no han disminuído de manera importante.

En consecuencia, el escenario que esperamos enfrentar en las zonas palúdicas de México y Centroamérica, se parece más al reportado para las zonas tropicales en Africa y Asia que el estudiado en la Frontera entre México y Estados Unidos. Así, en el siguiente cuadro se presenta el esquema de lo que creemos es la relación entre los diferentes medios. Debe quedar claro que el escenario incluye la exposición simultánea a la deltametrina (insecticida de selección en el programa de control actual) y al DDT residual (el DDT fue el insecticida de selección para el progrma de control hasta 1998, pero ahora no se usa más).

## RELACIÓN ENTRE LOS MEDIOS DEL AMBIENTE EN UN ESCENARIO TROPICAL



## **1. RELACIÓN ENTRE INTERIORES Y SUELO**

La exposición en interiores se da sobre todo por: (1) la inhalación de aire poco después de la fumigación con deltametrina; (2) la inhalación del DDT residual; y (3) por la ingesta de suelo contaminado con deltametrina y/o con DDT residual. En consecuencia, habría que definir los niveles de los insecticidas (incluyendo a los metabolitos del DDT y quizá de los enantiómeros de o,p'-DDT en suelo). De esta forma estableceríamos el nivel de exposición intradomiciliaria a los insecticidas y además, obtendríamos un primer panorama de la persistencia de la deltametrina en interiores. Por otro lado, la cuantificación de enantiómeros y de metabolitos nos ayudaría a conocer la capacidad de biodegradación del DDT en interiores (recordemos que las zonas palúdicas en México, incluyen comunidades indígenas cuyas viviendas tienen piso de tierra). De haber una buena biodegradación al interior de las viviendas, esperaríamos que el cociente de concentración para los enantiómeros (+) / (-) del o,p'-DDT fuere diferente a la unidad y posiblemente similar al que se obtuviera en suelo exterior. Por último, es importante recordar que los datos en suelo también serán de utilidad para definir la contribución del material aplicado en las paredes.

El suelo exterior se contamina por el aseo domiciliario (al barrer el polvo del interior al exterior) y sobre todo por la aplicación de los insecticidas en la cara externa de las paredes de las viviendas. Es de esperarse que de nueva cuenta nos enfrentemos a la presencia simultánea de la deltametrina y del DDT residual. De ser este el caso, habría que cuantificar ambos insecticidas a diversas profundidades. Esperamos que en ambientes tropicales, el primer medio centímetro de suelo presente concentraciones menores a los registrados a niveles de mayor profundidad. Esta apreciación la fundamentamos en: (1) una mayor volatilidad dadas las altas temperaturas; (2) una mayor fotodegradación dados los prolongados períodos de luz; y (3) un lavado del suelo más frecuente como resultado de las épocas de lluvias.

La biodegradación del DDT en suelo puede seguirse a través de la cuantificación de enantiómeros, lo cual permitiría la comparación con el suelo en interiores. Es muy importante hacer notar que no se ha demostrado ninguna diferencia significativa entre los suelos templados y los tropicales en cuanto a la cinética y las rutas de exposición<sup>83</sup>. Por lo cual, se espera que la degradación enantioselectiva que se ha podido observar en suelos templados también se aplique a los suelos tropicales.

Será interesante evaluar la degradación de la deltametrina en ambientes tropicales, considerando que en experimentos previos, su interacción con el material de suelo orgánico disminuye la cinética de degradación.

Un punto de especial interés es el reciente hallazgo de que compuestos con átomos de bromo (como el 2,5 dibromobenzoato), promueven la dechloración de compuestos organoclorados, al fomentar el crecimiento de las colonias bacterianas dechloradoras<sup>84</sup>. Recordando que la deltametrina es un compuesto organobromado y que el DDT es uno organoclorado, la posible acción inductora de la deltametrina en la biodegradación del DDT, es al menos en el plano teórico, una interacción excitante.

## **2. RELACIÓN ENTRE SUELO Y AGUA**

Esta relación es simple y se basa en que el suelo contaminado por los insecticidas se convierte en fuente contaminante de los cuerpos de agua en época de lluvias. En cuanto a los cuerpos de agua que mayor importancia tienen son : (a) aquellos que pudieren servir de fuente de abastecimiento de agua potable para los grupos humanos; (b) aquellos que se encuentran cercanos a comunidades (en los cuales se realizan actividades que ponen en contacto a las poblaciones con el agua contaminada, entre otras: lavado de ropa, recreación infantil, etc.); y (c) aquellos que contienen seres vivos (biota acuática). Los ríos y las zonas costeras tendrían especial interés por ser captadores de las corrientes superficiales generadas en las épocas de lluvias.

Aunado a lo anterior, es importante recordar que algunas comunidades cuentan con pozas de agua en donde se reproducen peces, con el objeto de mejorar las fuentes proteínicas de la dieta humana. Estas pozas pueden encontrarse junto a las viviendas, tal y como ocurre con algunas comunidades Lacandonas en el Sur de México. Es de esperarse que estas pozas se encuentren en alto riesgo de contaminación durante la fumigación de las viviendas. Debemos recordar que en zonas de fumigación la distancia de protección de los cuerpos de agua a las zonas de fumigación es de 100 m.

## **3. RELACIÓN ENTRE AGUA Y SEDIMENTO**

El insecticida (deltametrina o DDT) que llega al agua, de inmediato se precipita al sedimento y aparece en él o adsorbido a partículas suspendidas. Aunado a lo anterior, el sedimento puede servir de fuente contaminante que abastece a la fase soluble en el agua. Por la antigüedad, es de esperarse que el DDT y sus metabolitos se encuentren todavía en sedimento y que en los cuerpos de agua exista alguna concentración de estos compuestos. La concentración mayor de insecticida en el agua sería la más cercana a los sedimentos. Debido a la estrecha relación entre los sedimentos y el agua, podría esperarse que el cociente enantiomérico del o,p'-DDT fuese similar entre el sedimento, las partículas en suspensión y el insecticida en solución. Por otro lado, es importante hacer notar que la concentración de los insecticidas en los sedimentos puede variar de acuerdo a las profundidades<sup>53</sup>. Por ejemplo, ahora que el DDT ha sido eliminado del programa antipalúdico, podría esperarse que de manera paulatina el insecticida se encontrará en menor cantidad en la superficie del sedimento. En tanto, por su adsorción, es factible que la deltametrina se ubique a mayores concentraciones en esta zona del sedimento.

Se tendrá que tomar en cuenta que la concentración de los insecticidas pueden variar de un punto a otro por el movimiento de los sedimentos y por las diferentes capacidades degradativas en dichos puntos. Para el caso de la deltametrina es muy importante definir que las condiciones para hacer más lenta la biodegradación están dadas: es decir, ambiente anaeróbico e interacción con material orgánico. En los ríos, al disminuir el transporte de sedimentos durante el estiaje, podría presentarse mayor concentración de deltametrina. Esto es de importancia, ya que por ejemplo, los crustáceos de agua dulce se pescan introduciendo las manos en los sedimentos.



#### **4. RELACIÓN ENTRE SEDIMENTO Y SUELO**

El sedimento y el suelo representan los medios del ambiente mas importantes para el reservorio de insecticidas poco volátiles<sup>85</sup>, como lo es la deltametrina. Además, continúan siendo fuente importante de insecticidas persistentes como el DDT. Por ende, el que uno de estos medios pueda contaminar al otro, es un mecanismo que puede generar eventos de exposición para la biota terrestre y para la biota acuática.

La contaminación de los sedimentos por el suelo puede darse durante una época de abundantes lluvias, como cuando ocurre un Huracán. Por la acción de las abundantes corrientes de agua superficial, grandes cantidades de suelo pueden ser arrastradas a los cuerpos de agua, enriqueciendo a los sedimentos en un período muy corto de tiempo. Del mismo modo, los sedimentos pueden contaminar a los suelos cuando ocurren inundaciones. La inundaciones y los huracanes son eventos frecuentes en las zonas costeras, zonas que por lo general son endémicas de paludismo.

Algunas actividades humanas también causan la contaminación del suelo con elementos del sedimento. Tal es el caso del empleo del sedimento como material de construcción (arena). En algunos ríos tropicales es común la práctica de coleccionar arena sedimentada para ser vendida para la construcción de viviendas.

#### **5. RELACIÓN ENTRE SUELO / AGUA Y AIRE**

En cuanto a los insecticidas semivolátiles, la volatilidad es uno de los fenómenos de amortiguación de mayor importancia para los suelos tropicales<sup>83</sup>. Esto se debe a que la fugacidad del suelo depende de la concentración del insecticida y de la temperatura del suelo<sup>86</sup>. En consecuencia, es de esperarse que el DDT residual se encuentre en el aire a partir de la volatilidad de los insecticidas provenientes del suelo o por la evaporación de los insecticidas que hubieren contaminado cuerpos de agua. Además de la volatilidad, en época de estiaje y por la acción de los vientos, las partículas de suelo podrían ser transportadas a grandes distancias en el compartimiento aire. Así, tendríamos DDT y metabolitos tanto en la fase gaseosa como en la fase particulada de la atmósfera. Estos compuestos podrían regresar al suelo y/o a los cuerpos de agua a través de las precipitaciones secas y húmedas.

#### **6. RELACIÓN ENTRE AIRE Y PLANTAS**

Los insecticidas en el aire pueden ser interceptados por las plantas presentes en las zonas tropicales, gracias al material ceroso que recubre por ejemplo, a las hojas de los árboles<sup>72</sup>. Utilizando esta propiedad, se puede seguir el curso atmosférico de algunos plaguicidas, a través de su cuantificación, por ejemplo en las hojas de los pinos<sup>73-75</sup>. En las zonas tropicales, podría utilizarse la vegetación autóctona o la corteza de los árboles<sup>87,88</sup>. La cuantificación no solamente tendría la importancia de registrar la magnitud de la volatilización, sino también, serviría para determinar la magnitud de la contaminación externa de frutas y hojas. La contaminación de hojas por cierto, podría ser de importancia en aquellas regiones donde se utilizan para la preparación de alimentos como los tamales y la barbacoa.

## **7. EXPOSICIÓN DE LA BIOTA POR LA CONTAMINACIÓN DEL MEDIO**

La biota acuática puede exponerse por la contaminación del agua y de los sedimentos; en tanto, la biota terrestre puede exponerse por la contaminación del suelo y quizá de las plantas. La exposición puede llevar a la bioacumulación y a la biomagnificación; lo cual pondría en riesgo a todos los seres vivos de las cadenas alimenticias impactadas. Será muy importante seguir la distribución de los metabolitos, de los isómeros (p,p'- y o,p'-) y de los enantiómeros. Asimismo, en el caso de la fauna acuática será de mayor trascendencia monitorear especies profundas por su cercanía a un ambiente más contaminado (los sedimentos), es de esperarse que durante el estiaje aumente ligeramente la concentración (no hay dilución ni transporte de sedimentos). En el caso de la biota terrestre se deberán monitorear al menos, los pastos y el ganado que se alimenta de él. Un punto de discusión será la cuantificación de los niveles de deltametrina en la biota, por ejemplo, en los peces. La importancia de conocer el grado de exposición se enfrenta a la dificultad de monitorear al insecticida debido a su rápida degradación en organismos vivos.

## **8. CONCLUSIÓN**

El primer ambiente que merece ser monitoreado es el del interior de las viviendas. Además, recordando que las paredes son fumigadas por sus dos caras (interna y externa), el suelo superficial exterior, en las cercanías de las viviendas fumigadas, también es un medio muy expuesto a los insecticidas. El paludismo es un padecimiento que se presenta en zonas tropicales, donde abundan las lluvias. El agua puede lavar el suelo exterior y entonces los insecticidas viajarían a los arroyos, de ahí a los ríos y con ellos llegarían a las costas y a las aguas internacionales. En el camino, contaminarían a los sedimentos y podrían incorporarse a la cadena alimenticia.

En nuestro grupo, contamos con resultados preliminares que apoyan la existencia de estas rutas de exposición. En una comunidad palúdica, de San Luis Potosí, los niveles de DDT en interiores, alcanzaron valores hasta 211 por arriba del nivel basal de la comunidad. En tanto, los valores en el suelo exterior, solo se registraron 23 veces por arriba del basal. En el arroyo superficial que cruza al poblado se presentaron niveles de DDT 120 veces por arriba de la referencia emitida por la OMS. Esos arroyos llegan a ríos que desembocan en el Golfo de México, donde los niveles registrados fueron de 16.6 ppm en sedimentos. Sin embargo, la biomagnificación se advierte, ya que en los crustáceos se han registrado concentraciones tan altas como 1383 ppm de DDT.

En el camino de estas rutas de transporte, todos los seres vivos del ecosistema (el hombre incluido) pueden exponerse a los insecticidas que se utilizan o han utilizado para el control del paludismo. Por consiguiente, una evaluación de riesgo requiere del monitoreo de los insecticidas, tanto en los medios ambientales (polvo y aire de interiores, suelo exterior, agua superficial y sedimentos), como en los seres vivos potencialmente expuestos (humanos, peces, crustáceos de agua dulce, organismos marinos, biota terrestre, etc.). Con los conocimientos obtenidos se podrán desarrollar programas de intervención que incluyan la educación ambiental de las comunidades, la instrumentación de medidas médicas y el desarrollo de técnicas biotecnológicas.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

1. Castro JF (1988) Panorama histórico y epidemiológico del paludismo en México. Secretaría de Salud, México.
2. WHO (1990) Deltamethrin. Environmental Health Criteria 97. International Program on Chemical Safety. World Health Organization, Geneva.
3. Wijeyaratne P (1993) Control of disease vectors: a current perspective. En: Impact of pesticide use on health in developing countries (Forget G, Goodman T y de Villiers A, eds) International Development Research Centre, Ottawa. p. 263-279.
4. Extoxnet (1999) Deltamethrin. Extension Toxicology Network. Oregon State University. <http://ace.ace.orst.edu/cgi-bin/mfs/01/pips/deltamet.htm>
5. Spencer EY (1981) Guide to the Chemicals Used in Crop Protection. 7th edition. Publication 1093. Research Branch. Agriculture Canada.
6. Bradbury SP y Coats JR (1989) Toxicokinetics and toxicodynamics of pyrethroid insecticides in fish. Environ Toxicol Chem 8: 373-380.
7. Haug G y Hoffman H (1990) Chemistry of Plant Protection 4: Synthetic Pyrethroid Insecticides: Structures and Properties. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.
8. Kidd H y James DR (1991) The Agrochemicals Handbook, Third Edition. Royal Society of Chemistry Information Services, Cambridge, UK, p. 2-13.
9. Worthing CR (1987) The Pesticide Manual: A World Compendium. Eighth edition. Published by The British Crop Protection Council.
10. Leahey JP (1985) The Pyrethroid Insecticides. Taylor and Francis. London and Philadelphia.
11. Ritter L, Solomon KR, Forget J, Stemeroff M y Leary CO (1995) Persistent organic pollutants. An assessment report on: DDT, aldrin, dieldrin, endrin, chlordane, heptachlor, hexachlorobenzene, mirex, toxaphene, polychlorinated biphenyls, dioxins and furans. International Program on Chemical Safety.
12. ATSDR (1994) Toxicological profile for 4,4'-DDT, 4,4'-DDE, and 4, 4'-DDD. Agency for Toxic Substances and Diseases Registry. US Public Health Service. Atlanta, GA.
13. WHO (1979) DDT and its derivatives. Environmental Health Criteria 9. World Health Organization, Geneva.

14. Jönsson CJ y Lund BO (1994) In vitro bioactivation of the environmental pollutant 3-methylsulphonyl-2,2-bis (4-chlorophenyl)-1,1-dichloroethene in the human adrenal gland. *Toxicol Lett* 71:169-175.
15. Jönsson C, Lund BO, Bergman A y Brandt I (1992) Adrenocortical toxicity of 3-methylsulphonyl-DDE; 3: studies in fetal and suckling mice. *Reprod Toxicol* 6: 233-240.
16. Comunicación personal de la Jefatura del Departamento de Paludismo, Secretaría de Salud, México, Septiembre 1999.
17. Manninen A, Kangas J, Tuomainen A y Tahvonen R (1996) Exposure to insecticides in the use of cold fog generators in greenhouses. *Toxicol Environ Chem* 57: 213-224.
18. Neuber K, Merkel G y Randow FFE (1999) Indoor air pollution by lindane and DDT indicated by head hair samples of children. *Toxicol Lett* 107: 189-192.
19. DDT, Hazardous Substances Data Bank, 1999.
20. Pauluhn J (1996) Risk assessment of pyrethroids following indoor use. *Toxicol Lett* 88: 339-348.
21. Pauluhn J (1999) Hazard identification and risk assessment of pyrethroids in the indoor environment. *Toxicol Lett* 107: 193-199.
22. Extoxnet (1999) Movement of pesticides in the environment. Extension Toxicology Network. <http://ace.ace.orst.edu/info/extoxnet/tibs/movement.htm>
23. Deltamethrin. Hazardous Substances Data Bank, 1999.
24. Aigner EJ, Leone AD y Falconer RL (1998) Concentrations and enantiomeric ratios of organochlorine pesticides in soils from the US corn belt. *Environ Sci Technol* 32: 1162-1168.
25. ATSDR (1992) Public Health Assessment Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta Georgia. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida.
26. Suntio LR, Shiu WY, Mackay D, Seiber JN y Glotfelty D (1988) Critical review of Henry's law constants for pesticides. *Rev Environ Contam Toxicol* 103: 1-59.
27. Castro TF y Yoshida T (1971) Degradation of organochlorine insecticides in flooded soils in the Philippines. *J Agr Food Chem* 19: 1168-1170.
28. Mitra J y Raghu K (1998) Long term DDT pollution in tropical soils: effect of DDT and degradation products on soil microbial activities leading to soil fertility. *Bull Environ Contam Toxicol* 60: 585-591.

29. Bidleman TF y Falconer RL (1999) Using enantiomers to trace pesticide emissions. *Environ Sci Technol* 33: 206-209.
30. Pawlisz AV, Busnarda J, McLauchlin A, Caux PY y Kent RA (1998) Canadian water quality guidelines for deltamethrin. *Environ Toxicol Water Qual* 13: 175-210.
31. Dureja P y Chattopadhyay S (1995) Photodegradation of pyrethroid insecticide flucythrinate in water and on soil surface. *Toxicol Environ Chem* 52: 97-102.
32. Hill BD y Schaalje GB (1985) A two-compartment model for the dissipation of deltamethrin on soil. *J Agric Food Chem* 33: 1001-1006.
33. Chapman RA, Tu CM, Harris CR y Cole C (1981) Persistence of five pyrethroid insecticides in sterile and natural, mineral and organic soil. *Bull Environ Contam Toxicol* 26: 513-519.
34. Sukul P (1994) Extraction and clean-up procedures for the analysis of permethrin, cypermethrin, deltamethrin and fenvalerate in crops by GLC-ECD. *Toxicol Env Chem* 44: 217-223.
35. IRPTC (1993) Pyrethroids. International Register of Potentially Toxic Chemicals, United Nations Environment Programme. Russian Federation.
36. EPA (1986) Test Methods for Evaluating Solid Waste. Method 3540 Soxhlet Extraction. Method 3550 Sonication Extraction. Method 8080 Organochlorine Pesticides and PCBs. Environmental Protection Agency.
37. López-Avila V, Young R y Beckert WF (1994) Microwave-assisted extraction of organic compounds from standard reference soils and sediments. *Anal Chem* 66: 1097-1106.
38. Watanabe T (1998) Determination of the concentration of pesticides in atmosphere at high altitudes after aerial application. *Bull Environ Contam Toxicol* 60: 669-676.
39. Boehncke A, Siebers J y Nolting HG (1990) Investigation of the evaporation of selected pesticides from natural and model surfaces in field and laboratory. *Chemosphere* 21: 1109-1124.
40. Badawy MI (1998) Organic insecticides in airborne suspended particulates. *Bull Environ Contam Toxicol* 60: 693-701.

41. Eichelberger JW y Lichtenberg JJ (1971) Persistence of pesticides in river water. *Environ Sci Technol* 5: 541-544.
42. Extoxnet (1999) DDT. Extension Toxicology Network. Oregon State University. <http://ace.ace.orst.edu/cgi-bin/mfs/01/pips/ddt.htm>
43. Maguire RJ, Carey JH, Hart RH, Tkacz RJ y Lee HB (1989) Persistence and fate of deltamethrin sprayed on a pond. *J Agric Food Chem* 37: 1153-1159.
44. Maguire RJ (1991) Kinetics of pesticide volatilization from the surface water. *J Agric Food Chem* 39: 1674-1678.
45. Heberer T y Dünbier U (1999) DDT metabolite bis (chlorophenyl) acetic acid: the neglected environmental contaminant. *Environ Sci Technol* 33: 2346-2351.
46. Zeng EY, Yu CC y Tran K (1999) In situ measurements of chlorinated hydrocarbons in the water column off the Palos Verdes Peninsula, California. *Environ Sci Technol* 33: 392-398.
47. Hengel MJ, Mourer CR y Shibamoto T (1997) New method for analysis of pyrethroid insecticides: esfenvalerate, cis-permethrin, and trans-permethrin, in surface waters using solid-phase extraction and gas chromatography. *Bull Environ Contam Toxicol* 59: 171-178.
48. Quensen JF, Mueller SA, Jain MK y Tiedje JM (1998) Reductive dechlorination of DDE to DDMU in marine sediments microcosms. *Science* 280: 722-724.
49. Renner R (1998) "Natural" remediation of DDT, PCBs debated. *Environ Sci Technol* 32: 360-363.
50. Prytula MT y Pavlostathis SG (1996) Effect of contaminant and organic matter bioavailability on the microbial dehalogenation of sediment-bound chlorobenzenes. *Wat Res* 30: 2669-2680.
51. Barber LB y Writer JH (1998) Impact of the 1993 flood on the distribution of organic contaminants in bed sediments of the upper Mississippi River. *Environ Sci Technol* 32: 2077-2083.
52. Caplan JA, Isensee AR y Nelson JO (1984) Fate and effect of (<sup>14</sup>C) fenvalerate in a tidal marsh sediment ecosystem model. *J Agr Food Chem* 32: 166-171.
53. Yamashita N, Masunaga S, Rizk MS y Urushigawa Y (1997) Vertical profiles of organochlorine pesticides in sediment core from Nile River and Manzala Lake, Egypt. *Toxicol Environment Chem* 58: 151-161.

54. Caldas ED, Coelho R, Souza LCKR y Silva SC (1999) Organochlorine pesticides in water, sediment, and fish of Paranoá Lake of Brasilia, Brazil. *Bull Environ Contam Toxicol* 62: 199-206.
55. Phuong PK, Son CPN, Sauvain JJ y Tarradellas J (1998) Contamination by PCB's, DDT's, and heavy metals in sediments of Ho Chi Minh city's canals, Viet Nam. *Bull Environ Contam Toxicol* 60: 347-354.
56. Noreña-Barroso E, Zapata-Pérez O, Ceja-Moreno V y Gold-Bouchot G (1998) Hydrocarbon and organochlorine residue concentrations in sediments from Bay of Chetumal, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 61: 80-87.
57. Susarla S, El Hefnawy MM, Masunaga S, Yamashita N, Yonezawa Y, Rizk MMS y Urushigawa Y (1997) Anaerobic biotransformation of organochlorine pesticides in Manzala Lake, Egypt. *Toxicol Environ Chem* 62: 149-160.
58. Lee DB, Prudente MS, Tanabe S y Tatsukawa R (1997) Organochlorine residues in soils and sediments from Manila and nearby provinces, Philippines. *Toxicol Environ Chem* 60: 171-181.
59. Extoxnet (1993) Bioaccumulation. Extension Toxicology Network. <http://ace.ace.orst.edu/info/extoxnet/tibs/bioaccum.htm>
60. Fisher SW (1995) Mechanisms of bioaccumulation in aquatic systems. *Rev Environ Contam Toxicol*. 142: 87-117.
61. Brown LR (1997) Concentrations of chlorinated organic compounds in biota and bed sediment in streams of the San Joaquin Valley, California. *Arch Environ Contam Toxicol* 33: 357-368.
62. Abd-Allah AMA y Ali HA (1994) Residue levels of chlorinated hydrocarbons compounds in fish from El-Max Bay and Maryut Lake, Alexandria, Egypt. *Toxicol Environ Chem* 42: 107-114.
63. Hajslova J, Schoula R, Kocourek V, Holadova K, Poustka J, Kohoutkova J y Svobodova Z (1997) Polychlorinated biphenyls and other persistent chlorinated contaminants in fish as indicators of pollution of aquatic ecosystem in Czech Republic. *Toxicol Environ Chem* 59: 279-291.
64. Zhou HY, Cheung RYH y Wong MH (1999) Residues of organochlorines in sediments and tilapia collected from inland water systems of Hong Kong. *Arch Environ Contam Toxicol* 36: 424-431.
65. Allen-Gil SM, Gubala CP, Wilson R, Landers DH, Wade TL, Sericano JL y Curtis LR (1997) Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments and biota from four US Arctic Lakes. *Arch Environ Contam Toxicol* 33: 378-387.

66. Tirpenou AE, Tsigouri AD y Gouta EH (1998) Residues of organohalogen compounds in various dolphin tissues. *Bull Environ Contam Toxicol* 60: 216-224.
67. Alawi MA, Hourani M y Hilal DA (1995) Levels of organochlorine pesticides in fish, algae, sediments and sea water samples in the Aqaba Gulf. *Toxicol Environ Chem* 51: 121-134.
68. Albert LA (1996) Persistent pesticides in Mexico. *Rev Environ Contam Toxicol* 147: 1-44.
69. Kucklick JR y Baker JE (1998) Organochlorines in Lake Superior's food web. *Environ Sci Technol* 32: 1192-1198.
70. Madenjian CP, Hesselberg RJ, Desorcie TJ, Schmidt LJ, Stedman RM, Quintal RT, Begnoche LJ y Passino-Reader DR (1998) Estimate of net trophic transfer efficiency of PCBs to Lake Michigan lake trout from their prey. *Environ Sci Technol* 32: 886-891.
71. Letcher RJ, Norstrom RJ y Muir DCG (1998) Biotransformation versus bioaccumulation: sources of methyl sulfone PCB and 4,4'-DDE metabolites in the polar bear food chain. *Environ Sci Technol* 32: 1656-1661.
72. Fries GF (1995) Transport of organic environmental contaminants to animal products. *Rev Environ Contam Toxicol* 141: 71-109.
73. Eriksson G, Jensen S, Kylin H y Strachan W (1989) The pine needle as a monitor of atmospheric pollution. *Nature* 341: 42-44.
74. Jensen S, Eriksson G y Kylin H (1992) Atmospheric pollution by persistent organic compounds: monitoring with pine needles. *Chemosphere* 24: 229-245.
75. Strachan W, Eriksson G, Kylin H y Jensen S (1994) Organochlorine compounds in pine needles: methods and trends. *Environ Toxicol Chem* 13: 443-451.
76. Iwata H, Tanabe S, Iida T, Baba N, Ludwig JP y Tatsukawa R (1998) Enantioselective accumulation of  $\alpha$ -Hexachlorocyclohexane in northern fur seals and double-crested cormorants: effects of biological and ecological factors in the higher trophic levels. *Environ Sci Technol* 32: 2244-2249.
77. McBlain WA, Lewin V y Wolfe WH (1976) Differing estrogenic activities for the enantiomers of o,p'-DDT in immature female rats. *Can J Physiol Pharm* 54: 629-632.
78. WHO (1999) <http://www.who.int/chd/publications/newslet/dialog/6/prevent.htm>
79. Wiktelius S y Edwards CA (1997) Organochlorine insecticide residues in African fauna: 1971-1995. *Rev Environ Contam Toxicol* 151: 1-37.



80. Osibanjo O y Adeyeye A (1997) Organochlorine pesticide residues in foodstuffs of animal origin in Nigeria. *Bull Environ Contam Toxicol* 58: 206-212.
81. Kannan K, Tanabe S, Giesy JP y Tatsukawa R (1997) Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in foodstuffs from Asian and Oceanic countries. *Rev Environ Contam Toxicol* 152: 1-55.
82. Mora MA y Wainwright SE (1998) DDE, mercury, and selenium in biota, sediments, and water of the Rio Grande-Rio Bravo Basin, 1965-1995. *Rev Environ Contam Toxicol* 158: 1-52.
83. Racke, Skidmore M, Hamilton D, Unsworth J, Miyamoto J y Cohen S (1998) Pesticide fate in tropical soils. *International Conference on Pesticide Use in Developing Countries: Impact on Health and Environment*. San José de Costa Rica. p. 59.
84. Deweerd KA y Bedard DL (1999) Use of halogenated benzoates and other halogenated aromatic compounds to stimulate the microbial dechlorination of PCBs. *Environ Sci Technol* 33: 2057-2063.
85. Bacci E, Calamari D, Gaggi C y Vihghi M (1987) An approach for the prediction of environmental distribution and fate of cypermethrin. *Chemosphere* 16: 1373-1380.
86. Wania F, Haugen JE, Lei YD y Mackay D (1998) Temperature dependence of atmospheric concentrations of semivolatile organic compounds. *Environ Sci Technol* 32: 1013-1021.
87. Mulr DCG, Segstro MD, Welbourn PM, Toom D, Eisenreich SJ, Macdonald CR y Whelpdale DM (1993) Patterns of accumulation of airborne organochlorine contaminants in lichens from the upper Great Lakes region of Ontario. *Environ Sci Technol* 27: 1201-1210.
88. Simonich SL y Hites RA (1997) Relationships between socioeconomic indicators and concentrations of organochlorine pesticide in tree bark. *Environ Sci Technol* 31: 999-1003.

**ARTICULO No. 1**

77. McBlain WA, Lewin V y Wolfe WH (1976) CanJ Physiol Pharm 54: 629-632.  
CanJ Physiol Pharm 54: 629-632.

78. WHO (1999) Population protected with vector control measures, 1996. Ref internet.  
Rev Environ Contam Toxicol 103: 1-59.

science 269, 1851, 1995

environ sci technol 29, 2905, 1995  
29, 2267, 1995

Renner R (1998) "Natural" remediation of DDT, PCBs debated. Environ Sci Technol  
360-363.

Bidleman TF y Falconer RL (1999) Using enantiomers to trace pesticide emissions.  
Environ Sci Technol : 206-209.



Visita la página de la  
**Agenda Ambiental**  
de la **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**  
<http://ambiental.uaslp.mx/>

URL de este documento:  
<http://ambiental.uaslp.mx/docs/FDB-DDTAmbiental.pdf>