

***PRESENCIA DE PLAGUICIDAS EN EL ACUÍFERO CÁRSTICO
ENTRE LOS MUNICIPIOS DE MÉRIDA A PROGRESO,
YUCATÁN, MÉXICO***

***PRESENCE OF PESTICIDES IN THE KARSTIC AQUIFER BETWEEN THE
MUNICIPALITIES OF MÉRIDA TO PROGRESO, YUCATÁN, MÉXICO***

Germán Giacomán Vallejos^{1}, Irma Lizárraga Castro¹, Emanuel Hernández Núñez¹
y María del Carmen Ponce Caballero¹*

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Avenidas industrias no contaminantes por anillo periférico norte s/n. Mérida, Yucatán, México.

Recibido: Junio 24, 2016; Revisado: Diciembre 5, 2016; Aceptado: Febrero 2, 2017

RESUMEN

La contaminación por plaguicidas ha tomado relevancia a nivel mundial por sus efectos sobre los organismos vivos ya que son disruptores endocrinos, afectan el sistema inmunológico, pueden disminuir la capacidad reproductiva, y algunos son potencialmente carcinogénicos para humanos. Por las características mencionadas, por su persistencia elevada en el medio ambiente y potencial de bioacumulación en tejidos grasos varios de los plaguicidas organoclorados han sido restringidos en muchos países desde 1970 y se hace necesario su monitoreo. En Yucatán la naturaleza cárstica predominante del suelo facilita la infiltración de múltiples sustancias a los recursos hídricos subterráneos afectándolos. Particularmente, se observa la región noroccidental del estado, la cual está caracterizado por la presencia de asentamientos humanos, actividad agrícola y por un flujo de agua subterránea orientado hacia la costa norte. El presente trabajo expone los resultados de una investigación realizada en la región noroccidental del estado, específicamente en la zona comprendida entre los municipios de Mérida a Progreso, acerca de la contaminación del agua subterránea por 4,4'-DDT, 4,4'-DDD, 4,4'-DDE y lindano así como de endosulfán I y sulfato de endosulfán. Las concentraciones de DDT y sus derivados así como de endosulfán halladas en la zona mencionada representan un riesgo para el agua de consumo humano de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994.

Copyright © 2017. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Germán Giacomán, Email: giacomán@correo.uady.mx

Palabras clave: Plaguicidas, organoclorados, agua subterránea, Contaminación

ABSTRACT

Pollution by pesticides has become relevant worldwide due to its serious effects on living organisms. Pesticides act as endocrine disrupters, affect the immune system, decrease the reproductive capacity and some are potentially carcinogenic for human beings. For the characteristics mentioned, their high environmental persistence and bioaccumulation potential in fat tissues, since 1970, some of the organochloride pesticides have been restricted in many countries, and it is necessary their monitoring. In the Yucatan State, the predominant karstic nature of soil enables the infiltration of a wide range of substances to the underground hydric resources, polluting them. Particularly, it can be observed the north occidental state region, which is characterized by the presence of human settlements, agricultural activity and ground water flows oriented towards the north coast. The present study presents the results of a research carried out in the north occidental region of the Yucatan State (between the municipalities of Merida and Progreso) about the groundwater pollution by the presence of 4,4'-DDT, 4,4'-DDD, 4,4'-DDE, lindane, endosulphan I and endosulphansulfate. The DDT concentrations and its derivatives as well as the endosulphan found in the area represent a risk for human water consumption, according to the Mexican regulatory NOM-127-SSA1-1994.

Key words: pesticides, organochlorides, groundwater, pollution.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en México y a nivel mundial la contaminación por plaguicidas constituye un motivo de alarma para la humanidad, la cual es cada vez más consciente de los riesgos ambientales asociados con el uso de tales sustancias. Sin embargo, pese a los grandes adelantos tecnológicos aún se considera necesario su empleo en numerosas partes del mundo, para proteger la producción agrícola y controlar vectores de enfermedades (Frag-Mahmoud y Loutfy, 2012).

El empleo de plaguicidas para los diferentes usos demandan especial atención ya que son disruptores endocrinos, afectan el sistema inmunológico, pueden disminuir la capacidad reproductiva de los organismos vivos, y algunos hasta son potencialmente carcinogénicos para humanos (Cecchi et al., 2012). Los plaguicidas organoclorados si bien han sido restringidos en muchos países desde 1970, debido a su persistencia elevada en el medio ambiente y potencial de bioacumulación en tejidos grasos se hace aún necesario monitorearlos (Weber et al., 2008).

México comenzó a restringir el uso de plaguicidas desde 1987, pero las regulaciones fueron guiadas por el convenio de Estocolmo desde el año 2001 para los contaminantes persistentes (Castro-Díaz y Díaz-Arias, 2004). Se estima que entre 1974 y 1991 se utilizaron 60,000 toneladas de plaguicidas organoclorados en México, de los cuales el DDT representó el 10% (Wong et al., 2010). En el año 2000 el país declaró que había cesado el uso de DDT en su territorio (Romero-Torres et al., 2009). No obstante,

recientemente se han detectado DDT, lindano, endosulfán, y sus metabolitos, en agua y en diversas matrices como aire, suelo, sedimentos, sangre humana, peces e inclusive leche materna en diversas regiones del país, entre las que se incluye el sureste mexicano (Rodas-Ortíz et al., 2008; Wong et al., 2010; Guerrero-Dallos y Velandia-Rodríguez, 2014).

Dentro de los plaguicidas organoclorados los que son de interés en este trabajo son el 4, 4'-DDT [1,1,1-Tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano ó 1,1-Bis(4-clorofenil)-2,2,2-tricloroetano], formula lineal $(C_6H_4)_2CHCCl_3$; 4,4'-DDE [1,1-Dicloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano], formula lineal $(C_6H_4)_2C=CCl_2$; 4,4'-DDD[1,1-Dicloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano], formula lineal $(C_6H_4)_2CHCHCl_2$; el lindano [hexaclorociclohexano] y sus metabolitos α -, β -, γ -lindano, el endosulfán [6,7,8,8,10,10-hexacloro-1,5,5^a,6,9,9^a-hexahidro-6,9-metano-2,4,3-benzodioxatiepina-3-óxido], formula lineal $C_9H_6Cl_6O_3S$ y su derivado el sulfato de endosulfán, formula lineal $C_9H_6Cl_6O_4S$. Entre las características especiales de estos plaguicidas se puede mencionar su toxicidad, son disruptores endocrinos, poseen elevada persistencia y son bioacumulables.

Actualmente en el estado de Yucatán, el empleo de plaguicidas es muy variado debido al gran número de plagas y enfermedades propias de los climas tropicales que atacan los cultivos (Hernández y Hansen, 2011). El uso del suelo y la aplicación de estos productos sin un control estricto y el desconocimiento del potencial tóxico, sugiere el origen de problemas de contaminación en el acuífero de la península de Yucatán. Por esta razón, los cuerpos de agua subterránea en Yucatán se encuentran en la mayoría de los casos en una condición de vulnerabilidad elevada, resultado directo tanto de la alta permeabilidad del subsuelo cárstico como de la superficialidad del manto freático (que se encuentra entre 8 m de la superficie del suelo en la zona de Mérida a 0 m en la zona costera de Progreso donde afloran las descargas en los ojos de agua). Además, la Península de Yucatán no dispone de cuerpos superficiales de agua, por ello, la población del estado se abastece del líquido vital a través del acuífero subterráneo, para satisfacer sus necesidades básicas y mantener las distintas actividades productivas. El propósito de este trabajo es identificar, cuantificar y evaluar la distribución espacio-temporal de plaguicidas organoclorados (DDT, endosulfanes, lindano y sus metabolitos) en el transecto Mérida-Progreso. Donde existen pozos de monitoreo de la calidad del agua y servirá de base posteriormente para establecer mecanismos de monitoreo para otras regiones de la península.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización del área de estudio

El estado de Yucatán está localizada en el sureste de México y colinda al norte y oeste con el Golfo de México, al este con Quintana Roo y al sur y oeste con Campeche. El estado de Yucatán cuenta con una extensión territorial de 39 612 km², (INEGI, 2015). La mayor parte del territorio lo conforma una llanura que se formó producto de la aparición de una plataforma marina compuesta por roca calcárea y evaporita, en donde se han formado cenotes y en la zona costera se han desarrollado playas y cuerpos de agua. Para el presente trabajo se evaluará la presencia de plaguicidas organoclorados en 29 pozos profundos a lo largo del transecto Mérida- Progreso, algunos de los cuales ya

existían en la zona urbana de Mérida y se complementaron con otros para tener transectos en la dirección global del flujo del agua subterránea en decir en dirección al norte (Figura 1).

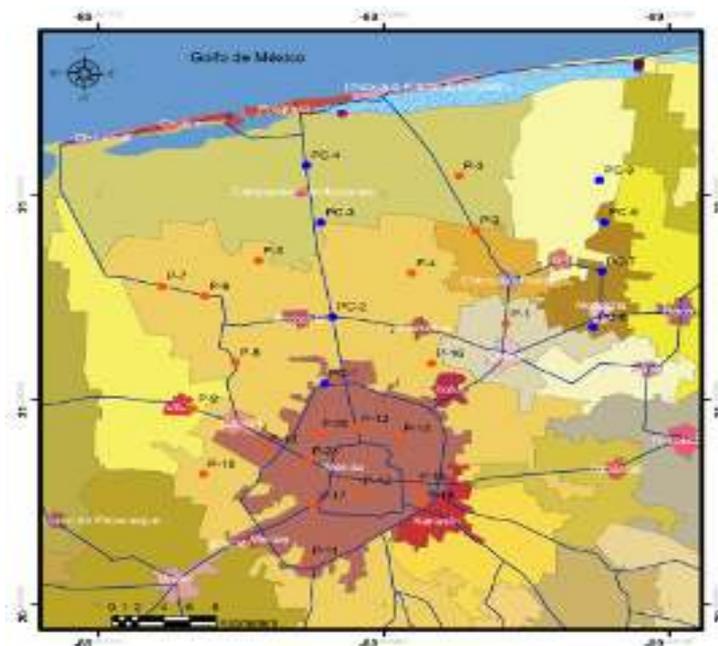


Figura 1. Transecto Mérida – Progreso: Puntos donde se llevó a cabo el monitoreo de los plaguicidas

Los pozos se distribuyen en un área de 1617,06 km² aproximadamente y se ubican principalmente en los municipios de Ucú, Progreso, Mocochoá, Komchem, Chicxulub, Ixil y Conkal. Se realizaron 3 muestreos, uno en mayo del 2012, en septiembre del 2012 y otro en enero del 2013. Se recolectaron muestras entre 10-20 m de profundidad, a las cuales se les determinó los plaguicidas 4,4'-DDT, 4,4'-DDD y 4,4'-DDE, lindano y sus metabolitos así como endosulfán y sulfato de endosulfán. Las actividades desarrolladas en la marcha analítica para la determinación de los plaguicidas ya mencionados se presentan a continuación y se resumen en la tabla 1.

2.2. Conservación de las muestras.

Las muestras de agua de los pozos y manantiales se almacenaron en frascos de borosilicato color ámbar, con sobretapas de teflón y tapas de baquelita. Mantenidas a una temperatura de 4°C hasta su análisis. El tiempo de procesamiento de la muestra no excedió los 15 días después de su toma.

2.3. Reactivos.

Se utilizó como estándar para la preparación de la curva de calibración una disolución (CLP OrganochlorinePesticideMix, marca Sigma-Aldrich, No. de catálogo 47426-U), la cual contiene una mezcla de plaguicidas organoclorados, en concentraciones de 2000 µg/mL por cada plaguicida disuelta en 1:1 de tolueno y hexano. Se utilizó como estándar interno el 4-clorofenil-4-clorobencensulfonato (denominado OVEX), a una

concentración de 100 ppb. (1mL de muestra se le agregó 20 µL de estándar interno a partir de una solución de 5 ppm). Para el método de extracción de plaguicidas se utilizaron los siguientes solventes; hexano grado cromatográfico, metiliterbutileter grado cromatográfico, metanol grado reactivo, diclorometano grado cromatográfico, agua destilada y agua MiliQ o grado HPLC

2.4. Extracción en fase sólida de plaguicidas.

Para la extracción de plaguicidas organoclorados en fase sólida, se utilizaron cartuchos C18 CHROMABOND de Macherey-Nagel con 500 mg de sílice y con un volumen de 6 mL, con un poro de 60 Å, con un tamaño de partícula de 45 µm, con una superficie específica de 500 m²/g, que cuenta con estabilidad de pH entre 2 y 8. Antes de iniciar la extracción, se filtraron todas las muestras para eliminar impurezas que puedan interferir en el proceso de extracción (Polanco et al., 2015).

2.4.1 Acondicionamiento

Se colocó el cartucho en una cámara de vacío y se le adicionaron 5 mL de metanol, seguido de 5 mL de metiliterbutileter y 3 mL de agua destilada. Finalmente, se dejó secar por 5 minutos. **Retención:** se pasaron 10 mL de agua destilada a través del cartucho C18 para quitar impurezas no deseadas, posteriormente se hizo pasar la muestra en una cantidad de 500 mL a través del cartucho. Terminado el proceso de retención de los plaguicidas en los cartuchos, se hizo nuevamente un lavado del cartucho C18 con 10 mL de agua destilada para quitar impurezas no deseadas. **Recuperación: Elución:** Los compuestos organoclorados fueron recuperados con 5 mL de metiliterbutileter (elución) y finalmente evaporados utilizando vacío durante una hora hasta quedar completamente secos. **Reconstitución:** La muestra seca se reconstituyó con hexano hasta 1 mL y se sellaron en viales hasta su análisis por cromatografía.

2.5. Análisis por cromatografía de gases

Las muestras fueron analizadas en un Cromatógrafo de gases marca THERMO SCIENTIFIC acoplado un detector de captura de electrones. La columna cromatográfica para la separación de los componentes (plaguicidas estudiados) es una de tipo capilar marca AltechHeliflex® AT-5MS, 30 m de longitud x 0.25 mm de diámetro interno con espesor de fase de 0,25 µm. Se utilizó como gas de arrastre al Helio y como gas auxiliar (Make up) al Nitrógeno. La rampa de temperatura para el horno fue al inicio 60°C manteniéndose un minuto, posteriormente se realizaron incrementos de 30°C/min hasta 130°C, manteniéndose ésta un minuto, después, el incremento de 2°C/min hasta 200°C y se mantuvo por 15 min. Finalmente, se realizaron incrementos de 10°C/min hasta 240°C y se mantuvo por 3,50 min. El tiempo de corrida fue de 65 minutos. El flujo del gas acarreador en la columna fue de 1,3 mL/min. Para el inyector se utilizó una temperatura de 250°C con un flujo de 50 mL/min en la modalidad Splitless, con un tiempo de espera de 2 min. Para el detector de captura de electrones se utilizaron temperaturas de 300 y 330 °C para la base y el detector respectivamente, con una corriente de 1nA y una amplitud del pulso de 50 V. Finalmente el flujo de Nitrógeno empleado como gas auxiliar (Make up) fue de 40 mL/min.

2.6. Curvas de Calibración.

Se preparó una curva de calibración con 5 puntos (1, 10, 50, 100, 500 ppb) a partir de un estándar de 20 ppm de Organochlorine Pesticide Mix, se le agregó a cada punto de la curva 20 µL del estándar interno (OVEX, sigma aldrich CAS Number80-33-1).

Tabla 1. Actividades para la determinación de plaguicidas

<i>Etapas de preparación de la muestra</i>	
Filtrado	Utilizando papel filtro con poro de 45 µm
Extracción en fase sólida	<p>a. Acondicionamiento de cartuchos C18: Metanol, metilterbutiléter y agua destilada miliQ.</p> <p>b. Retención: Plaguicidas extraídos de 500 mL de agua subterránea.</p> <p>c. Lavado: Con agua destilada miliQ.</p> <p>d. Elución. Con 5 mL de MTBE.</p>
Evaporación	Aplicando un flujo de gas N ₂ .
Reconstitución	Con hexano hasta 1 mL.
ANÁLISIS CUANTITATIVO	
<p>Se realizó con un cromatógrafo de gases marca Thermo Scientific acoplado a un detector de captura de electrones, una columna capilar marca Alltech-Heliflex de 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm, helio como gas acarreador y nitrógeno como <i>make up</i>.</p> <p>La marcha cromatográfica consistió: Temperatura de inicio para el horno de 60°C, incrementos de 30°C/min hasta 130°C, manteniéndose ésta temperatura un minuto, posteriormente crecimiento de 2°C/min hasta 200°C y se mantuvo esta temperatura por 15 min. Finalmente incrementos de 10°C/min hasta 240°C y se mantuvo por 3,50 min.</p>	
Se calcularon los factores de respuesta para cada contaminante utilizando curvas de calibración de 5 niveles (1, 10, 50, 100 y 500 ppb). El estándar interno utilizado fue OVEX.	

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan los valores límites para DDT y sus metabolitos, lindano así como endosulfán que han sido adoptados como Norma en algunos países del mundo y del cual se extrae que el valor para el DDT en varias normas es de 1 ppb; sin embargo, en cuanto a la suma de DDT y sus isómeros el valor más bajo lo establece el “Canadian Council of Ministers of Environment (2003)” con 0,01 ppb. Para México de acuerdo a la “NOM-127-SSA1-1994” el valor establecido es de 1 ppb para la suma de DDT y metabolitos. En el caso del lindano la “NOM-127-SSA1-1994” establece 2 ppb.

Tabla 2. Límites establecidos para plaguicidas en aguade abastecimiento

<i>NORMATIVIDAD</i>	<i>PLAGUICIDA</i>					
	<i>DDT</i> [ppb]	<i>DDE</i> [ppb]	<i>DDD</i> [ppb]	Σ - <i>DDT</i> [ppb]	<i>LD</i> [ppb]	<i>ES-I</i> [ppb]
NOM-127-SSA1-1994				1	2	
Organización Mundial para la Salud (2008)	2					
Canadian Council of Ministers of Environment (2003)				0,01		
Comisión Nacional del Agua. DOF, (1989)			0,0002			
Norma Chilena Oficial 409/1.Of.84	1					
UNEP (2007). Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos.	1					
British Columbia Approved Water Quality Guidelines, 2006 Edition				30		
EPA – National Primary and Secondary Drinking Water Standars Unión Europea. Directiva 98/83/EC (1998)	Total de plaguicidas de 0,5 ppb Para cada plaguicida individual de 0,1 ppb (salvo en los casos de aldrín, dieldrín, heptacloro y heptacloroepóxido, cuyos valores se han fijado en 0,03 ppb)					
<i>CALIDAD DE AGUA PARA LA PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA</i>						
DOF, (1989)	1	10	10			
Σ -DDT= Total de isómeros, LD = Lindano e isómeros, ES = Endosulfán y derivados						

El análisis realizado a 29 muestras en diferentes puntos del transecto Mérida-Progreso se presenta en la tabla 3 y hace ver que existe presencia de DDT y sus isómeros (4,4'-DDT, 4,4'-DDD y 4,4'-DDE), lindano, endosulfán y sulfato de endosulfán. De acuerdo a los valores encontrados, se puede decir que se está afectando la calidad del agua subterránea, ya que en varios de los pozos monitoreados los valores detectados están por encima de 1 ppb y 2 ppb, valores límite establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 para DDT y sus isómeros así como lindano y sin valor de referencia para endosulfán y sulfato de endosulfán para agua de abastecimiento para consumo humano.

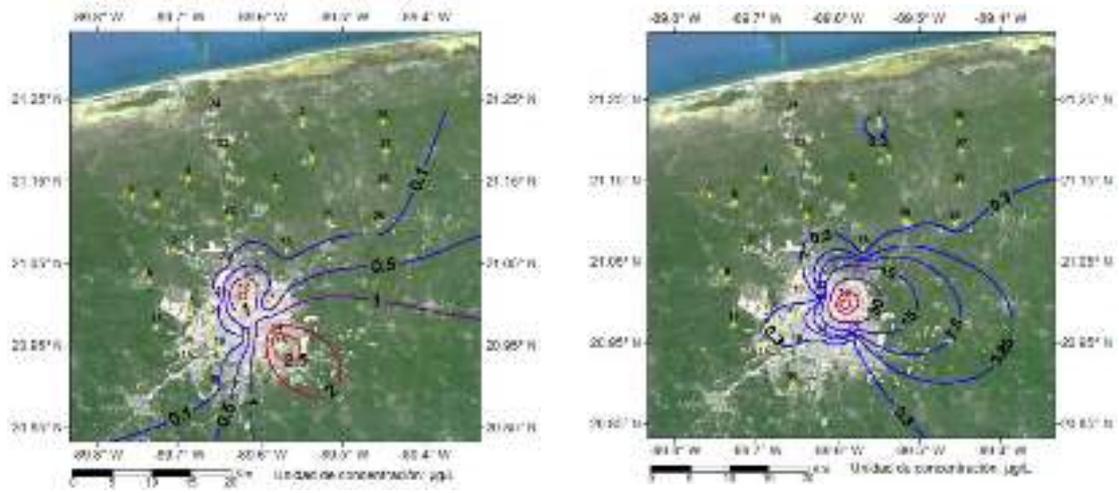
Tabla 3. Concentraciones promedio de plaguicidas en los pozos de observación

<i>Plaguicida</i>	<i>Muestreo</i>	<i>Rango de Profundidad (m)</i>	<i>Pozos donde se detectó (%)</i>	<i>Promedio de Concentración (ppb)</i>	<i>Valor de referencia (NOM-127) (ppb)</i>
DDT	Mayo (2012)	10-20	10	0,276	1
	Septiembre (2012)	10-20	62	1,159	
	Enero (2013)	10-20	82,75	1,097	
DDE	Mayo (2012)	10-20	27,58	0,077	1
	Septiembre (2012)	10-20	31,03	0,097	
	Enero (2013)	10-20	100	0,989	
DDD	Mayo (2012)	10-20	24,13	1,524	1
	Septiembre (2012)	10-20	72,41	0,371	
	Enero (2013)	10-20	100,00	2,279	
LINDANO	Mayo (2012)	10-20	86,20	24,39	2
	Septiembre (2012)	10-20	96,55	17,74	
	Enero (2013)	10-20	100,00	42,39	
Endosulfán	Mayo (2012)	10-20	55,17	2,789	N.E.
	Septiembre (2012)	10-20	82,76	20,884	
	Enero (2013)	10-20	100,00	6,532	

Sulfato de Endosulfán	Mayo (2012)	10-20	41,38	4,595	N.E.
	Septiembre (2012)	10-20	68,97	0,829	
	Enero (2013)	10-20	96,55	1,553	

La presencia de residuos y metabolitos de plaguicidas organoclorados en el agua subterránea en el transecto de la ciudad de Mérida a Progreso durante los diferentes muestreos implica la lixiviación de los contaminantes desde el suelo, un proceso que está influenciado por la cantidad de precipitación que se presenta en la zona en temporada de lluvias y nortes o por riego en época de secas. El uso de insecticidas para controlar plagas tanto en áreas agrícolas, domésticas, en jardinería, sin un adecuado control en cuanto a la cantidad aplicada así como la inadecuada disposición de sus residuos constituyen fuentes de contaminación. En particular, la detección de compuestos asociados con el DDT e isómeros, lindano, endosulfán, sulfato de endosulfán entre otros, en el transecto entre la ciudad de Mérida a Progreso se asociaría con campañas sanitarias implementadas en el pasado contra mosquitos y otras plagas; sin embargo, la aplicación reciente del plaguicida de manera ilegal no resulta imposible. Cabe señalar que el muestreo en el mes de mayo corresponde al final de la época de secas, con una precipitación para este mes de 35 mm, el mes de septiembre corresponde a la época de lluvias, que es cuando existe una precipitación pluvial de 142 mm en este mes, para octubre, noviembre y diciembre las precipitaciones son de 133; 11,9 y 0,0 mm. Finalmente, para la temporada de nortes correspondiente al mes de enero, la precipitación pluvial fue de 68 mm. Estoprácticamente está influenciando las variaciones de concentración entre los meses de los muestreos.

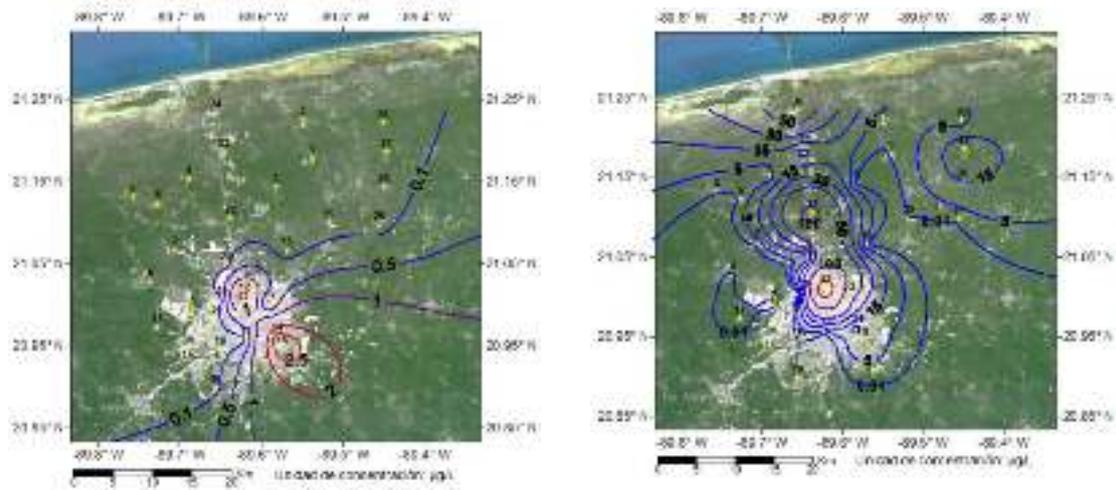
A partir de la información anterior se generaron los mapas de isoconcentraciones para 4,4'-DDT y para endosulfán en el periodo mayo 2012 a enero 2013, éstos son presentados en la Figura 2, 3 y 4.



DDT (mayo 2012)

Endosulfán (mayo 2012)

Figura 2. Distribución espacial y temporal de DDT y endosulfán para la primera campaña de monitoreo



DDT (Septiembre 2012)

Endosulfán (septiembre 2012)

Figura 3. Distribución espacial y temporal de DDT y endosulfán para la segunda campaña de monitoreo

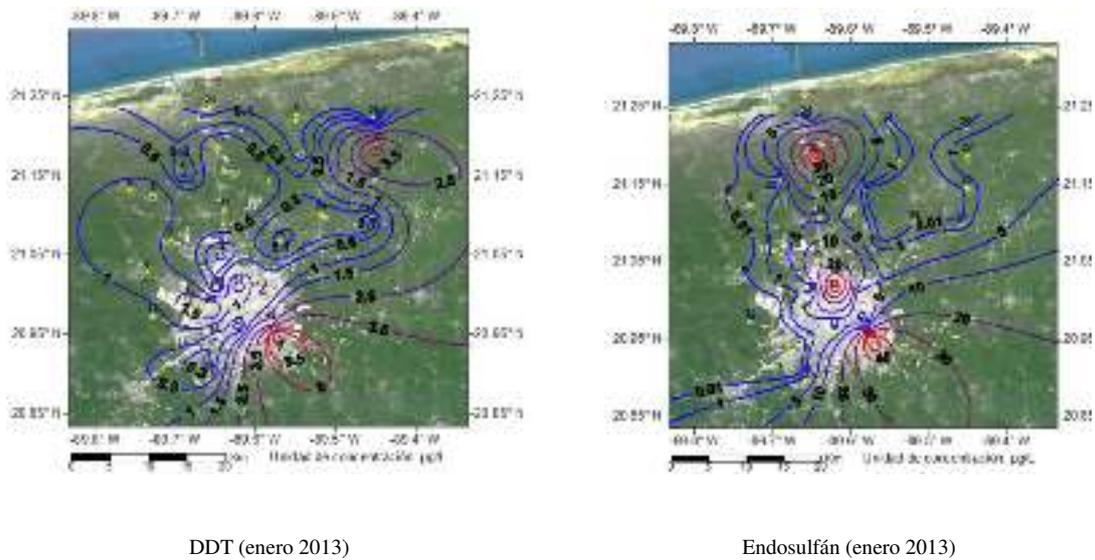


Figura 4. Distribución espacial y temporal de DDT y endosulfán para la tercera campaña de monitoreo

Con los datos hasta ahora encontrados se observa que la presencia de DDT ha ido incrementando en número de pozos, de un 10% del primer muestreo a un 83 % en el tercer muestreo que sobrepasan los valores de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994; sin embargo, aunque existe un aumento en la concentración del DDT no se puede concluir que la presencia del DDT es debida a la aplicación reciente, aunque en la mayoría de los pozos la concentración de los metabolitos es superior a la de DDT, lo que implicaría un uso no reciente, por ello es imprescindible continuar monitoreando este plaguicida y en su caso determinar la edad de aplicación de este plaguicida.

La presencia de residuos de endosulfán y su metabolito en el agua subterránea de la zona Mérida a Progreso es explicable, considerando que el uso del insecticida aún está autorizado en actividades agrícolas. No obstante, la presencia del contaminante en la ciudad de Mérida se relacionaría más con jardinería y el control de plagas domésticas, aunque igualmente deben considerarse posibles fugas por una disposición inadecuada del insecticida. Además, la baja estabilidad ambiental de los isómeros del endosulfán en el medio ambiente (35-150 días) sin duda contribuyó a justificar las variaciones observadas en sus concentraciones durante el estudio.

4. CONCLUSIONES

1. Durante el estudio el agua subterránea en más del 60 % de los pozos resultó no apta para consumo humano, acorde a la normatividad nacional e internacional, por la presencia de uno o más contaminantes.
2. Las concentraciones de los contaminantes variaron tanto de forma espacial como temporal. La interacción de factores como la recarga del acuífero (por precipitación o riego), las propiedades fisicoquímicas del contaminante (que impactan en su persistencia ambiental), el movimiento del agua subterránea

(capaz de dispersar y diluir la contaminación) y el uso del suelo afectan la distribución de los contaminantes.

3. Se mostró que gradualmente el porcentaje de pozos donde los metabolitos 4,4'-DDD y 4,4'-DDE se incrementó predominando sobre su compuesto padre el 4,4'-DDThasta alcanzar el 100% de los pozos en enero del 2013.
4. La persistencia del endosulfán en el medio ambiente en altas concentraciones está relacionada con el hecho de no ser un plaguicida restringido ya que no hay un valor límite de referencia en la NOM-127-SSA1-1994 y se deben a aplicación reciente del insecticida. Se mostró además que el sulfato de endosulfán al ser un metabolito de endosulfán tendió incrementarse hacia el mes de enero del 2013.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación se lleva a cabo a través de los fondos Sectoriales CONACYT – CONAGUA, titulado “Evaluación de la calidad del agua subterránea que subyace a la ciudad de Mérida y su impacto en la zona costera del Estado de Yucatán”. Clave: 148167. Responsables: Dr. Eduardo Graniel Castro (QEPD) y Dr. Germán Glácoman Vallejos.

REFERENCIAS

- Castro-Díaz, J., Díaz-Arias, M.L., Avances del Convenio de Estocolmo en México., Capítulo 2, En: Las sustancias tóxicas persistentes en México, Instituto Nacional de Ecología, México, 2004, pp.32-44.
- Cecchi, A., Rovedatti, M.G., Sabino, G., Magnarelli, G.G., Environmental exposure to organophosphate pesticides: assessment of endocrine disruption and hepatotoxicity in pregnant women., *Ecotoxicology and environmental toxicology*, Vol. 80, 2012, pp. 280-287.
- DOF., Criterios ecológicos de calidad del agua., Comisión Nacional del Agua, Diario Oficial de la Federación, México, D.F., 1989, pp.1-9.
- Farag-Mahmoud, M., Loutfy, N., Biocides: uses and environmental pollution of biocides., chapter 1 En: Pesticides: evaluation of environmental pollution, Taylor and Francis Group, Estados Unidos, Boca Ratón, 2012, pp. 3-29.
- Guerrero-Dallos, J.A., Velandia– Rodríguez, N.Y., Comparación de dos metodologías para la determinación de residuos de plaguicidas en agua potable., *Revista Colombiana de Química*, Vol. 43, No. 1, 2014, pp. 17-24.
- Hernández, A., Hansen, A. M., Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos., *Revista internacional de contaminación ambiental*, Vol. 27, No. 2, 2011, pp. 115-127.
- INEGI., Anuario estadístico y geográfico de Yucatán 2015., Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguas Calientes, México, 2015, pp. 1-623.
- Polanco, A.G., Alberto, J.A., Sánchez, J.S., Rejón, G.J., Gómez, J.M., & Del Valls Casillas, T.A., Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring

- of Cenotes in Yucatán, México., *Water and Environment Journal*, Vol. 29, No. 1, 2015, pp. 140-150.
- Rodas-Ortíz, J.P., Ceja-Moreno, V., González Navarrete, R.L., Alvarado Mejía, J., Rodríguez Hernández, M.E., Gold-Bouchot, G., Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls levels in human milk from Chelem, Yucatán, México., *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 80, No. 3, 2008, pp. 255-259.
- Romero-Torres, T., Cortinas-De Nava, C., Gutiérrez-Avedoy, V. J., *Diagnóstico nacional de los contaminantes orgánicos persistentes en México.*, 1ª ed., Instituto Nacional de Ecología, México, D.F., 2009, pp. 15-21, 59-65, 169-175.
- Weber, C.I., Muresan, G. H., Georgescu, B., Organochlorine pesticide residues analysis from cow milk: a review., *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, Vol. 65, 2008, pp. 43-58.
- Wong, F., Alegría, H.A., Bidleman, T.F., Organochlorine pesticides in soils of Mexico and the potential for soil-air exchange., *Environmental Pollution*, Vol. 158, No. 3, 2010, pp. 749-755.