



GREENPEACE

Contaminación de cenotes con plaguicidas en la Península de Yucatán

Diciembre
2016

Estudio cenotes península de Yucatán

Dr. Jaime Rendón von Osten

Instituto EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche

Contaminación con plaguicidas en cenotes de la Península de Yucatán

En México, el crecimiento poblacional y económico ha ejercido mayor presión sobre las reservas de agua, lo que ocasiona conflictos entre poblaciones por problemas de baja distribución. En este sentido, la escasez y la mala calidad del agua parecen ser los principales retos a resolver.

En la Península de Yucatán el subsuelo es la fuente fundamental de abastecimiento disponible de agua. Los cuerpos de agua continentales de la Península de Yucatán tales como cenotes, aguadas y manantiales cumplen importantes funciones sociales, económicas y ecológicas. Desde el punto de vista socioeconómico, estos sistemas son de vital importancia como fuentes de abastecimiento de agua de la población rural y para la realización de actividades agropecuarias. Los cenotes, aguadas y manantiales de la península de Yucatán son ecosistemas que se caracterizan por ofrecer beneficios, tangibles e intangibles, a la sociedad por medio de procesos que se desarrollan en dichos ecosistemas.

Estos cuerpos generan importantes recursos al ser utilizados como sitios de esparcimiento y turismo. Aunado a lo anterior, estos sistemas son el hábitat y la fuente de agua de importantes especies de fauna, cumpliendo un importantísimo papel en el sustento de la biodiversidad. Debido a lo anterior, recientemente la Reserva de la Biosfera de Calakmul fue nombrada Patrimonio Mixto de la Humanidad por parte de la UNESCO, lo cual sin duda se debe a las aguadas que mantienen su gran riqueza faunística.

En toda la Península de Yucatán existen registros de innumerables asentamientos humanos prehispánicos, debido a que los mayas supieron que el control práctico y simbólico de los cenotes, cuevas y aguadas significaba el dominio político y social, así como el poder sobre la vida y la muerte. De allí la profunda veneración, claramente evidenciada por los numerosos vestigios arqueológicos que se

preservan en el fondo de sus aguas, las cuales no han sido cuantificados y son muy susceptibles a ser saqueados.

Los cuerpos de agua de la Península resultan particularmente vulnerables a la contaminación antropogénica principalmente por las zonas de cultivo adyacentes a los cuerpos de agua. Se calcula que 70 o 75 por ciento de los cenotes de Yucatán –aproximadamente entre 7000 a 8000 de acuerdo a la SEDUMA¹;– presentan bacterias provenientes del lavado de letrinas, actividades porcícolas o fosas sépticas. Sin embargo, el agua dulce de los cenotes es muy importante para sustento de la población humana asentada cerca de estos ecosistemas.

Por las características químicas del agua presente en los cenotes, falta de luz y sedimentos finos y mineralizados, estos ecosistemas preservaron vestigios arqueológicos y paleontológicos. Las aguas, expuestas a las condiciones medioambientales de la Península de Yucatán proporcionan un ambiente peculiar para el desarrollo de formas de vida únicas.

En los ecosistemas de cenotes se han registrado especies de insectos, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, que no viven de modo permanente en el cuerpo de agua, pero se vinculan por ser una fuente de agua y/o como hábitat en alguna etapa de su ciclo vital.

Por ejemplo, los murciélagos que habitan dentro de cavernas, oquedades de paredes y techos son, en muchos casos, la principal fuente de energía en cenotes semicerrados o cerrados, por el aporte de materia orgánica a través de sus excretas.

A nivel nacional se reconoce que los acuíferos de la península de Yucatán son la gran reserva de agua dulce del país, lo cual pone en riesgo al ser considerado este ecosistema como una fuente alterna para el abastecimiento de agua en regiones cercanas a la Península. En la Península de Yucatán, como en todas las zonas de karst, el acuífero es la principal fuente de agua para todas las actividades humanas. Para preservar el agua del acuífero es necesario reconocer, estudiar y evaluar las amenazas (niveles y tipos de contaminantes), la vulnerabilidad (la protección natural del medio físico-biótico hacia el acuífero) y el riesgo de contaminación del acuífero (integración de las amenazas y la vulnerabilidad).

Las amenazas o peligros son la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, en este caso en particular, corresponde a las actividades humanas y naturales que contaminan el acuífero. La vulnerabilidad es concebida como la potencial pérdida de la calidad del agua subterránea debida al grado de exposición natural de los acuíferos. El riesgo es el grado de pérdida de la calidad y cantidad de agua esperada debido a la ocurrencia de un suceso identificado previamente como amenaza, es una condición potencial de ocurrencia de algo nocivo o dañino que depende tanto del grado o intensidad de la amenaza, así como de los niveles de vulnerabilidad del acuífero. El estudio de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación de los acuíferos de la Península de Yucatán requiere de una participación interdisciplinaria.

Por otro lado, la toma de decisiones para decretar zonas de conservación hídrica, así como para la regulación de las actividades humanas que contaminan los acuíferos, necesita información científica que las fundamente y, es por esa razón que, esperamos que los artículos de este volumen sean de utilidad

¹ Patricia Beddows, Paul Blanchon, Elva Escobar, Olmo Torres-Talamante “Los cenotes de la península de Yucatán”, consultado en diciembre de 2016 en el sitio web:

<http://www.seduma.yucatan.gob.mx/cenotes-grutas/documentos/cenotes-peninsula.pdf>

para los tomadores de decisiones a diversos niveles de gobierno. En este volumen se presentan un trabajo sobre el acuífero de Campeche, dos trabajos sobre los acuíferos de Quintana Roo, y tres estudios sobre Yucatán.

Los cenotes dependiendo de las condiciones de su formación se pueden tener cenotes cántaro, en los que la abertura al exterior es pequeña en relación con el diámetro del embalse; cenotes cilíndricos, de paredes verticales, donde la abertura equivale al diámetro del cuerpo de agua; cenotes aguada, azolvados, con perfil en forma de plato y grutas, en los que la entrada es lateral.

Una de las actividades que representa un riesgo hacia la calidad del agua de los cenotes es la agricultura, ya que en ella se emplean una gran cantidad de plaguicidas que, dependiendo de su toxicidad, pueden tener efectos adversos a largo plazo sobre los organismos vivos, incluyendo al ser humano

El estudio de Macossay et al. (2013), menciona que los principales productos agropecuarios y forestales peninsulares fueron la caña de azúcar, con casi 2 millones de toneladas; principalmente proveniente del sur de Q. Roo y del centro-sur de Campeche.

El Maíz con 673 mil toneladas; 68 por ciento en todo Yucatán, 22 por ciento en Campeche y el resto (10 por ciento) en el centro sur de Q. Roo. También se tiene la producción de naranja, limón, toronja, mango, aguacate, papaya, piña y sandía, 465 mil toneladas, 61 por ciento en Yucatán, y lo demás en Campeche y Q. Roo.

Por otra parte, la producción de chiles, tomate, elote, pepino y calabaza, alcanza las 95 mil toneladas, en Yucatán, Campeche y Q. Roo. En el caso del arroz y soya, Campeche produce 52 mil toneladas, cuya producción ha venido a la baja, ya que en 1980 se produjeron 68 mil toneladas, en el 2000, 87 mil; en 2007, 72 mil y en 2012 apenas 32 mil toneladas.

Estas miles de hectáreas dedicadas a la agricultura tecnificada ocasionan que se apliquen grandes cantidades de plaguicidas y en específico, los herbicidas de mayor uso en México y la península como lo son el 2,4-D, atrazina, paraquat y glifosato.

En junio del 2015 se realizó el Foro “Análisis sobre el uso de plaguicidas en la península de Yucatán” en las instalaciones del Parque Áak ubicado en Hacienda Xcunuyá, Mérida convocado por Colectivo MA OGM, Universidad Autónoma de Campeche, Programa de Manejo de Riesgos, PNUD, RAPAM, A.C. (Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México). <http://hijosdelatierra.espora.org/foro-de-analisis-sobre-el-uso-de-plaguicidas-en-la-peninsula-de-yucatan/>

El diagnóstico realizado mostró que en las comunidades recorridas se utilizan 74 plaguicidas, de los cuales los más empleados son glifosato, paraquat, 2,4-D, Imidacloprid, cipermetrina, clorpirifos, abamectina, metamidofos y endosulfán

Debido a que el suelo de la Península de Yucatán es kárstico el riesgo por contaminación de sus aguas por cada uno de los 74 plaguicidas es muy alto.

Por otra parte, debido a que el glifosato es el plaguicida que más se utiliza en el mundo y que además ha sido catalogado como posible carcinógeno por la OMS, es necesario implementar un sistema de monitoreo que tome en cuenta la distribución ambiental de este compuesto, en especial, en los cenotes. Lo anterior es de suma importancia ya que un estudio reciente sobre la persistencia del glifosato en agua demuestra que, este herbicida puede tener una vida media hasta de un año al estar en condiciones de

oscuridad y de una temperatura de 30 °C, tal y como se estaría presentando en el agua subterránea de la Península de Yucatán (Mercurio et al., 2014).

El uso indiscriminado de plaguicidas, aunado a la persistencia de la mayoría de los productos aplicados pone en riesgo la calidad del agua y, por ende, la salud de los organismos de vida silvestre y del ser humano debido a la exposición a estos compuestos.

Contaminación de cenotes por plaguicidas

A pesar de que los cenotes y agua subterránea de la Península de Yucatán integran el recurso hídrico más importante de la región, no existen estudios suficientes para identificar y conocer la presencia de residuos de plaguicidas en agua que pudieran ingresar a los cenotes debido a la actividad agrícola de la Península.

Al respecto existen solo unos estudios que se enfocan en la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados. De estos compuestos el endosulfan es el de gran interés debido a que todavía se emplea intensamente en la agricultura como insecticida. Asimismo, el lindano (gamma-HCH) es un ingrediente activo muy utilizado para el control de ácaros como las garrapatas que afectan al ganado.

Un estudio llevado a cabo por Polanco et al. (2014) en el cual se determinaron residuos de plaguicidas organoclorados en agua de 20 cenotes en el denominado “anillo de cenotes” los resultados indican la presencia principalmente de endosulfan, DDT y hexaclorociclohexanos (HCHs). Este estudio se llevó a cabo en dos temporadas, lluvias y secas. En la tabla 1 se presentan las concentraciones de estos compuestos en las dos épocas climáticas, lluvias y secas.

Como se podrá observar, en la época de secas se tienen las concentraciones más altas y la presencia de otros isómeros del HCH que es empleado actualmente como acaricida (figura 1).

Tabla 1. Concentraciones promedio de plaguicidas organoclorados en agua de cenotes

Compuesto	Concentración promedio mg L ⁻¹	
	lluvias	secas
Endosulfan I	0.016	0.033
Endosulfan II	0.027	0.014
DDE	0.081	0.112
DDD	0.017	0.109
DDT	0.016	0.032
α-HCH	N.D.	0.639
β-HCH	N.D.	0.1
χ-HCH	0.044	1.5
δ-HCH	N.D.	0.462

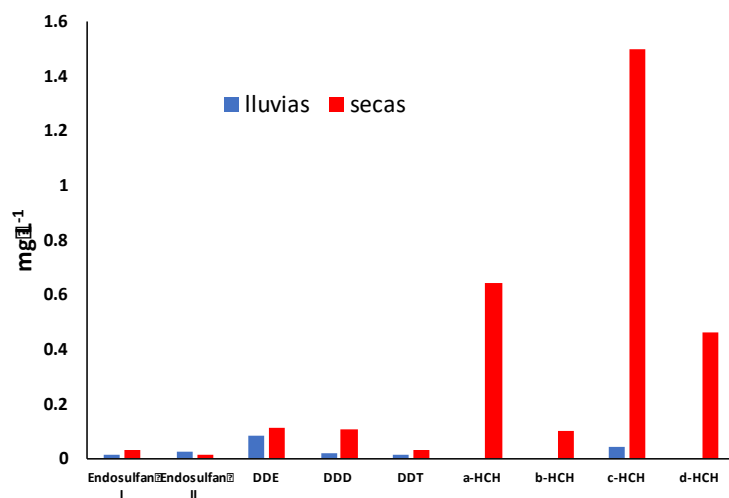


Figura 1. Concentraciones promedio de plaguicidas organoclorados en agua de 20 cenotes por época climática

Otro estudio llevado a cabo en ocho cenotes del estado de Yucatán (Cobos et al., 2014) indica que los cenotes tienen residuos de endosulfán, HCH y DDT (tabla 2).

Tabla 2. Concentraciones (mg L^{-1}) de plaguicidas organoclorados en ocho cenotes del estado de Yucatán

	Yal Ek	Celestún	Chan-Hulú	Noh-hulú	Alborada	Xlaká	Sabak-há	Mono
Aldrin			0.951		0.711		0.436	0.65
Clordano		0.962	1.495		0.871	0.498		
HCH	1.311	0.838		1.174				2.375
Endosulfán		0.533					1.509	
Endrin			0.366		0.538	1.805		0.805
Heptacloro	0.399	0.365		0.928		1.038	1.038	0.91
Metoxicloro		0.827						
DDT's		1.577	1.043					

Como se podrá observar, las mayores concentraciones se encuentran en el lado este de la Península, donde se tiene un poco más de actividad ganadera y agrícola (figura 2).

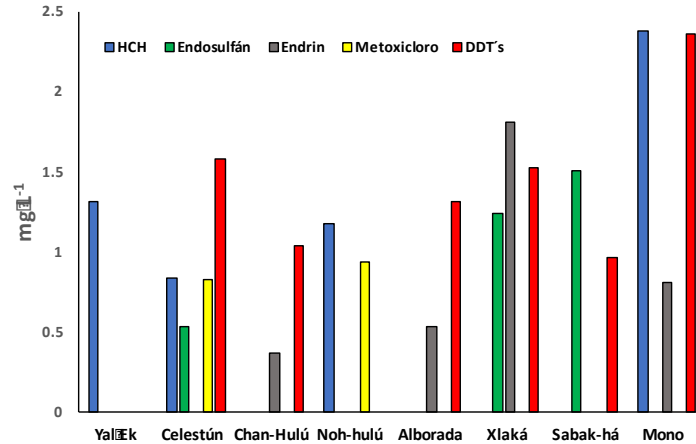


Figura 2. Concentraciones de plaguicidas organoclorados en agua de ocho cenotes del estado de Yucatán

Sin embargo, el DDT se encuentra en el 75 por ciento de las muestras lo cual indica que posiblemente se determinó el DDT residual que se empleó para el control de vectores que fue muy intenso en los años 70s y 80s.

Las concentraciones de DDT, HCH, endosulfan y el clordano detectadas, podrían alterar el sistema hormonal de los peces. Estas sustancias tienen alto potencial como disruptores endócrinos y los peces son muy sensibles a estas sustancias. La disrupción endocrina se define como la perturbación de la función hormonal endógena por productos químicos que entran al organismo. Los problemas en la reproducción o crecimiento de un organismo pueden deberse a una sustancia o a mezcla de estas, causando un mayor efecto adverso en la salud del organismo o en su progenie. El aumento en la concentración de vitelogenina en peces machos debido a plaguicidas es un indicativo de este efecto, en especial los plaguicidas organoclorados son los que inducen una mayor cantidad de esta sustancia.

Es importante resaltar un estudio realizado con muestreadores pasivos en cinco sitios de cavernas de la Riviera Maya en el estado de Quintana Roo en donde se detectaron residuos de varios compuestos de los cuales resalta el herbicida 2,4-D con una concentración estimada de 2.39 ng L⁻¹.

En la tabla 3 se describen los compuestos determinados en el agua de las cavernas de la Riviera Maya.

Tabla 3. Compuestos determinados en agua de cavernas de la Riviera Maya

Compuesto	Clase	Concentración ng L ⁻¹
2,4-D	Herbicida	2.39
Cafeína	Estimulante	12.50

Cocaína	Droga ilícita	1.87
Naproxen	Medicamento	3.19
Ibuprofeno	Medicamento	4.27
Fenantreno	Hidrocarburo	2.12
Triclosan	Bactericida	0.81
Nonilfenol	Alquilfenol	0.11

Como se puede observar, mediante el uso de muestreadores pasivos se pudo detectar la presencia no solo de plaguicidas como es el caso del herbicida 2,4-D, sino también de compuestos tales como medicamentos y compuestos que pudieran tener un efecto adverso sobre los organismos.

Un punto importante a considerar es que se demuestra que en un solo sitio se pueden encontrar presentes varios tipos de contaminantes o xenobióticos que pueden ejercer un efecto adverso de tipo aditivo o sinérgico, lo cual puede comprometer la salud de los organismos expuestos.

Recientemente (2016) en el Instituto EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche, con el apoyo de Greenpeace México, se realizaron análisis de residuos de plaguicidas en muestras de cinco cenotes de la Península de Yucatán (tabla 4). Tres del estado de Yucatán, uno de Quintana Roo y uno de Campeche.

Tabla 4. Residuos de plaguicidas organoclorados en agua de cenotes procedentes de la Península de Yucatán

Plaguicida	Lineamiento calidad agua	Chen Ha	Xelactum	Yax Ha	Cueva serpiente	Miguel Colorado
		Yucatán	Yucatán	Yucatán	Q Roo	Campeche
ng mL ⁻¹						
HCH alfa		0.0291	0.0224			
HCH beta			0.0363			
HCH gamma	0.2		0.0573			
Dieldrin	0.9	0.0092			0.0146	
Endrin	0.04	0.0115		0.0118		
Endrin Cetona	0.04	0.0537		0.0442	0.0891	0.0254
Endosulfan II	0.03					0.0181
pp DDD	0.01			0.0268		
pp DDE	0.1			0.0089	0.0157	

En rojo se encuentran las concentraciones que superan los límites máximos permitidos en agua dulce de acuerdo a la Ley Federal de derechos en materia de aguas nacionales

En la tabla 5 se muestran los lineamientos de calidad del agua emitidos por la Conagua (2014) a través de la "Ley Federal de Derechos"

Tabla 5. Lineamientos de calidad del agua para plaguicidas organoclorados (ng/L) dependiendo del tipo de uso de agua (CONAGUA, 2014).

Compuesto	Uso 1	Uso 2	Uso 3
-----------	-------	-------	-------

Aldrín	1.00	0.30	7.40
BHC (Lindano)	3.00	2.00	0.20
Clordano (Mezcla Técnica de DDD)	3.00	2.00	0.09
DDD	1.00	0.01	0.01
DDE		10.00	0.10
DDT	1.00	1.00	0.10
Dieldrín	1.00	2.00	0.90
Endosulfan (Alfa y Beta)	70.00	0.20	0.03
Endrín	0.50	0.02	0.04
Heptacloro	0.10	0.50	0.50
Hexaclorobenceno	0.05	2.50	1.60

Uso 1: Fuente de abastecimiento para uso público urbano.

Uso 3: Protección a la vida acuática: Agua dulce, incluye humedales.

Uso 4: Protección a la vida acuática: Aguas costeras y estuarios

Con relación al estudio de Polanco et al. (2014) y Cobos et al. (2014) las concentraciones de plaguicidas, principalmente de endosulfán, sobrepasa el lineamiento de calidad de agua para protección de vida acuática tanto para agua dulce como costera.

Con respecto al último estudio realizado en este año por Greenpeace muestra que el endrín cetona, un producto de degradación del endrín, se encontró en los cenotes Yax Ha y Chen Ha en Yucatán, así como en la cueva de las Serpientes en Quintana Roo en concentraciones mayores que el lineamiento para protección de la vida acuática en agua dulce (0.04 ng mL^{-1}). Asimismo, en el cenote Yax Ha el producto de degradación del DDT, el DDD, se encontró arriba de los 0.01 ng mL^{-1} que establece el lineamiento de calidad del agua antes mencionado.

Por otro lado, se han encontrado o determinado otro tipo de contaminantes en los cenotes, principalmente hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) tales como el fenantreno, naftaleno y benceno entre los hidrocarburos contaminantes más comunes presentes en los cenotes ubicados en Cancún y Playa del Carmen, dos polos turísticos bien desarrollados (Medina et al., 2014). Otras regiones de Quintana Roo, con desarrollo de turismo intermedio (Puerto Morelos, Tulum, Cozumel y Bacalar) muestran la presencia de hidrocarburos también. El posible origen de los HAPs sea el proceso de roza-tumba-quema ("rtq") que se lleva a cabo en las actividades agrícolas con el fin de preparar las tierras para el siguiente ciclo agrícola.

Es importante resaltar que varios de los HAPs que pudieran generarse por el "rtq" son carcinógenos comprobados o son carcinógenos en animales de experimentación.

Uso de organismos para evaluar la calidad ambiental de los cenotes

Una de las formas más prácticas de evaluar la calidad ambiental es mediante el estudio de los organismos que habitan el área de interés y determinar biomarcadores en ellos con el fin de conocer posibles alteraciones en los organismos ocasionado por uno o más xenobióticos o contaminantes presentes.

Existe un estudio en el cual se determinaron biomarcadores en el pez mosquito *Gambusia yucatanana* procedente de 3 cenotes, Celestún, Abalá y Buctzotz (Pacheco Garrido et al., 2014)

En este estudio se evaluó la actividad de la enzima acetilcolinesterasa (AChE) que su inhibición nos indica la presencia de residuos de plaguicidas organofosforados o carbámicos.

Los resultados de la actividad de la acetilcolinesterasa en la temporada de secas, con respecto al control muestran una inhibición de la actividad en *G. yucatanana*, la actividad más baja se encontró en el cenote de Abala seguido de Buctzotz y Celestún (figura 3), debido muy probablemente a la presencia de plaguicidas organofosforados o carbámicos, que pueden estar siendo transportados por el agua de las lluvias junto con los plaguicidas determinados en este estudio, ya que estos compuestos son frecuentemente empleados en la agricultura del estado (Alvarado et al., 1994).

Con respecto a los resultados obtenidos en la temporada de lluvias, se observa una reversión en el comportamiento de la actividad de la Acetilcolinesterasa con respecto a los sitios y un aumento en el valor de dicha actividad, esto último apoya el hecho de que en esos sitios la concentración de los plaguicidas inhibidores de la colinesterasa en el agua de esos cenotes es menor. El hecho de que en el cenote de Celestún se presentó la inhibición más pronunciada en comparación con los otros sitios apoya el hecho de que las lluvias están desplazando los contaminantes hacia el mar propiciando gradientes de concentración de dichos compuestos, por lo que se esperaría que las concentraciones sean mayores en los cenotes cercanos a la costa. Esto se ve apoyado con los resultados de la comparación de la actividad entre sitios, el cual indica diferencias significativas en los tres sitios de muestro con respecto al grupo control.

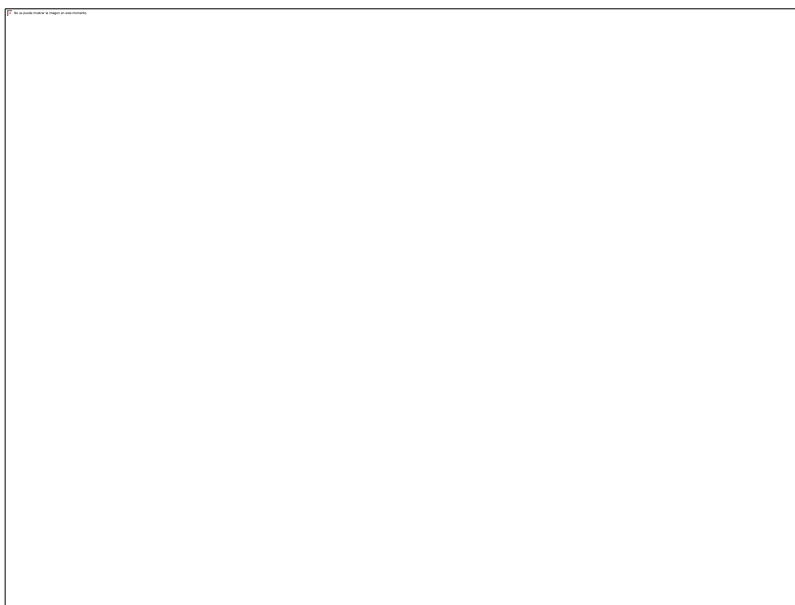


Figura 3. Actividad media (círculos) de la Acetilcolinesterasa (nmoles/min/mg proteína) en *G. yucatanana* ajustada por el peso total del individuo.

Las actividades enzimáticas promedio de los individuos provenientes de los cenotes de Celestún y Abalá son significativamente diferentes, siendo Celestún la localidad que registra la actividad promedio más baja, lo cual puede indicar la presencia de plaguicidas organofosforados y/o carbámicos.

Si bien las concentraciones de plaguicidas organoclorados detectadas en aguas de los cenotes de Yucatán son bajas, habría que determinar cómo varían estas sustancias a lo largo del tiempo, ya que

éstas se verían afectadas por la precipitación pluvial, para así evaluar los efectos de dichos contaminantes a largo plazo a diferentes niveles tróficos, todo esto con el fin de conservar un ecosistema habitado por fauna propia de la región, la cual le da un valor incalculable.

Con el fin de conocer si el agua subterránea de la Península de Yucatán presenta algún riesgo por contaminación, Torres y colaboradores (2014) realizaron una evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de contaminación en del estado de Yucatán con base en variables tales, de las cuales la profundidad y la tasa de recarga son las más importantes.

La vulnerabilidad extrema se localizó en los municipios más cercanos a la costa y la vulnerabilidad alta en la parte sur de la región de estudio. Los niveles de peligrosidad en función del número de sitios potencialmente generadores de residuos peligrosos se clasificaron como alto para el municipio Progreso y muy alto para Mérida.

Los autores llegan a la conclusión de que el riesgo a la contaminación del acuífero calculado a través de la vulnerabilidad y la peligrosidad tuvo la clasificación de muy alto para los municipios de Mérida, Progreso y Dzidzantún.

Sin embargo, el modelo no implicó la evaluación del movimiento y riesgo por infiltración de residuos de plaguicidas empleados en la agricultura, ya que no se ha impulsado la investigación o monitoreo de las afectaciones por estos compuestos por parte del gobierno.

Legislación

Debido a que existe un vacío jurídico derivado de la ley de aguas nacionales en materia de cenotes ya que la definición de las aguas nacionales y de las zonas federales destinadas a evitar la instalación de construcciones y actividades productivas en las orillas de las corrientes de agua, resulta inaplicable debido a la morfología de muchos de los cenotes ya que solamente considera extensiones horizontales a lo largo de los ríos o cuerpos de agua. Dicha inadecuación del marco jurídico hace difícil una eficiente protección de estos cuerpos de agua.

Como consecuencia, en el 2014 el Gobierno del estado de Yucatán emite el Decreto 193/2014 por el que se expide el Reglamento de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán en Materia de Cenotes, Cuevas y Grutas.

En el artículo 12 titulado “Prohibición de verter aguas residuales del decreto”, se establece que “No podrán verterse en los cenotes, cuevas o grutas ningún tipo de aguas residuales, hidrocarburos, residuos sólidos urbanos, de manejo especial, plaguicidas tóxicos o residuos industriales, tampoco se podrán usar estos como fosas sépticas o sumideros”. Sin embargo, no se dice nada acerca de cómo proteger a los cenotes con relación a los escurrimientos procedentes de zonas de cultivo que generalmente tienen varios tipos de plaguicidas en sus aguas.

Por sus características, los cenotes son un fenómeno que no es fácil controlar y tutelar. Su naturaleza críptica genera incertidumbre sobre el número exacto que existe en Yucatán, pues su ubicación poco visible en principio, subterránea o de difícil acceso, no contribuye en su ubicación y protección, sea en el campo o en la ciudad.

Ahora bien, en el estado de Yucatán se encuentra vigente el Decreto No. 793, publicado el 26 de julio de 2007 en el Diario Oficial del Estado, por el que se formuló y expidió el Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del estado de Yucatán (POETY) en el que la entidad se divide en Unidades de

Gestión Ambiental mediante las cuales se identifican y regulan las diferentes zonas bajo ciertos criterios que en el mismo documento se establecen.

En el Plan Estatal de Desarrollo 2007-2012 que es sustento del Desarrollo Regional para el Crecimiento Equilibrado del Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Yucatán, se planteó la necesidad de diseñar estrategias para disminuir los efectos adversos sobre los recursos naturales, proteger los ecosistemas, las especies de flora y fauna silvestres y las especies genéticas del área, así como regular el manejo del agua y residuos y mitigar los efectos que ocasionan la contaminación del manto freático y la extracción irracional del agua. Las estrategias deben diseñarse con la participación social para la conservación y manejo de los recursos naturales.

En el mismo documento se indica que es imperativo reorientar el ordenamiento territorial del estado a partir de un concepto integral del desarrollo, articulando la planeación de los asentamientos humanos, con la eficiencia y competitividad económica, equidad social, cohesión cultural y la sustentabilidad ambiental.

El agua es vital para el desarrollo y sustento del ser humano, y en caso de la Península de Yucatán los cenotes son preponderantes en diversos ámbitos, tales como los ecológicos, económicos, sociales, turísticos, religiosos, entre otros muchos que se encuentran asociados, como ecosistemas.

Conclusiones

Los principales plaguicidas organoclorados determinados en el de agua de los cenotes estudiados son Endosulfán, DDT y Lindano con sus diferentes isómeros.

Aunque no se tiene una legislación con respecto a los límites permisibles en agua de cenotes, las concentraciones de los plaguicidas organoclorados determinados la mayoría de ellos están arriba de los límites permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 y los lineamientos para calidad del agua de la Ley Federal de derechos Aplicables en Materia de Aguas Nacionales.

Las concentraciones presentes en el agua de los cenotes fluctúan en los ng mL^{-1} , y para el ser humano es difícil establecer a que concentraciones se estaría expuesto y a través de qué vía. Sin embargo, es necesario resaltar que, aunque estas concentraciones posiblemente no tengan efectos adversos en el corto plazo, se ha demostrado que concentraciones bajas de plaguicidas como el endosulfán, dieldrín, DDT y lindano (γ -HCH) tienen efectos a nivel reproductivo tanto en vida silvestre como en el ser humano (Colborn et al., 1993; Toft et al., 2004). Es por ello que es necesario además de evaluar las concentraciones de plaguicidas en el ambiente, es fundamental estudiar los posibles efectos adversos de estos compuestos y de los muchos otros que se aplican por la actividad agrícola que se desarrolla en la Península de Yucatán.

Durante la época de secas es cuando se observan las concentraciones mayores de plaguicidas en el agua de los cenotes.

El comportamiento espacial de las concentraciones de plaguicidas durante la época de lluvias tiende a aumentar siguiendo la dirección del anillo de cenotes hacia sus extremos.

Se encontraron diferencias significativas en la actividad enzimática de la acetilcolinesterasa entre sitios y épocas del año, lo cual indica la presencia de plaguicidas organofosforados y/o carbámicos.

La distribución geográfica de contaminantes en el acuífero permite ver los municipios con mayores

concentraciones. Las actividades agrícolas son de manera extensiva en Chocholá, Kinchil, Tecóh, Tekit, Izamal, e intensiva en Sacalúm y Buctzotz; ganaderas de tipo extensivo, en Chocholá, Kopomá, Kinchil, Tecoh, Izamal y Dzilám González; y ganadería intensiva en Abalá, Buctzotz, Tekit.

Aunque se tienen avances en la legislación estatal acerca de la protección de los cenotes, esta debe ser más específica para el caso de los residuos de plaguicidas para que en el futuro no se tengan ambigüedades que ocasionen que los plaguicidas que se aplican en los campos de cultivo lleguen al agua subterránea.

A pesar de la gran importancia de los cenotes en la Península de Yucatán, se carece de un sistema de monitoreo de la calidad del agua por contaminación por plaguicidas. Es necesario que las autoridades den prioridad a la conservación con respecto a la implementación de proyectos que comprometan la calidad ambiental, antes de que sea tarde.

Es necesario establecer un sistema de vigilancia de residuos de plaguicidas tóxicos que permita tomar las acciones pertinentes en tiempo y espacio, ya que al mediano plazo la carencia de este monitoreo tendrá un costo más elevado que su implementación.

Bibliografía

Alvarado J, Cobos V, González, L. 1994. Insecticidas y herbicidas de mayor uso en los horticultores de Yucatán. Implicaciones a la salud y al ambiente. *Rev. Biomédica*. México. 5(4):180-190

Cobos V, Barrientos R, Navarro J, Rendón von Osten J. 2014. Plaguicidas organoclorados: contaminantes persistentes en cenotes de Yucatán. *Bioagrobiencias* 7(1):24-27

Colborn T, vom Sal FS, Soto AM. 1993. Developmental effects of endocrine-disrupting chemicals in wildlife and humans. *Environmental Health Perspectives* 101(5):378-384.

Comisión Nacional del Agua. 2014. Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales.

Macossay Vallado M, Cervera Backhauss E, Flores Torres J. 2013. Cambios y continuidades en la agricultura de la península de Yucatán. Historia, situación actual y posibilidades. <https://www.academia.edu/4638243/CAMBIOYCONTINUIDADESENLAAGRICULTURADELAPENINSULADEYUCATÁN>historiasituaciónactualyposibilidades

Medina-Moreno SA, Jiménez-González A, Gutiérrez-Rojas M, Lizardi-Jiménez MA. 2014. Estudios de contaminación por hidrocarburos en cenotes de Quintana Roo relacionada al desarrollo turístico en el Caribe Mexicano. *Rev. Mex. Ing. Quím* 13(2):509-516.

Mercurio P, Flores F, Mueller JF, Carter S, Negri AP. 2014. Glyphosate persistence in seawater. *Marine Pollution Bulletin* 85:385–390

Metcalfe CD, Beddows PA, Gold G, Metcalfe TL, Li H, van Lavieren H. 2011. Contaminants in the coastal karst aquifer system along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Environmental Pollution* 159:991-997

NOM-127-SSA1. 1994. Norma Oficial Mexicana. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

NORMA Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.

- Pacheco Garrido, G.T., R. Barrientos Medina, J. Navarro Alberto, V. Cobos Gasca, y Jaime Rendón von Osten, 2014. Evaluación temporal de la actividad enzimática de acetilcolinesterasa en el pez mosquito, *Gambusia yucatanana* (Regan 1914), provenientes de tres cenotes de Yucatán, México, p. 71-86. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold- Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida. 1176 p. isbn 978-607-7887-71-3.
- Polanco AG, Navarro JA; Solorio J, Mena GJ, Marrufo J, Del Valls TA. 2015. Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring of Cenotes in Yucatán, México. *Water and Environment Journal* 29:140–150
- Torres MC, Basulto YY, Cortés J, García K, Koh J, Puerto F, Pacheco JG. 2014. Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del agua subterránea en Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 1(3):189-203
- Toft G, Hagmar L, Giwercman A, Bonde JP. 2004. Epidemiological evidence on reproductive effects of persistent organochlorines in humans. *Reproductive Toxicology* 19:5-26.