

OPINIÓN SOBRE EL SIGUIENTE PUNTO DE ACUERDO DE FECHA 04 DE FEBRERO DEL PRESENTE:

“ÚNICO.- LA CÁMARA DE DIPUTADOS DEL HONORABLE CONGRESO DE LA UNIÓN, EXHORTA RESPETUOSAMENTE A LA SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DEL GOBIERNO FEDERAL A EMITIR NORMA OFICIAL MEXICANA A PROPUESTA DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA Y DEL INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA, PARA REGULAR EL USO, APROVECHAMIENTO Y CONTROL DE SISTEMAS KÁRSTICOS EN MÉXICO, CON LA FINALIDAD DE REGULAR LAS ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS QUE GARANTICEN DESARROLLO SUSTENTABLE Y PRESERVACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.”

GENERALIDADES

En la superficie de terrenos constituidos por rocas carbonatadas o calcáreas es común que se formen oquedades naturales, de forma más o menos circular, originadas por el colapso del techo de oquedades subterráneas que se forman en esas rocas (calizas y dolomías, compuestas en su mayoría por calcita CaCO_3 y dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, respectivamente), generalmente de origen maíno. Estas oquedades se forman a partir de fisuras, grietas o fracturas, zonas de debilidad que son atacadas por la acción erosiva del agua infiltrada y por el ataque químico de la misma sobre las componentes solubles de ese tipo de rocas, ricas en minerales muy vulnerables a la disolución.

Al paso del tiempo las oquedades son ensanchadas, con lo cual aumenta la permeabilidad del medio rocoso y se facilita cada vez más la circulación del agua. Así, se va formando una red de conductos más o menos interconectados, de diferente forma y tamaño, en un proceso progresivo que se acelera por sí mismo. Cuando se van ensanchando las oquedades más cercanas a la superficie del terreno, su techo se va adelgazando hasta que se desploma por su propio peso, con el consiguiente hundimiento de la superficie del terreno y la formación en ésta de los “sumideros” o “dolinas”, oquedades que en la región de la Península de Yucatán reciben el nombre de “cenotes” (término derivado del maya: *tz'onot*, pozo, abismo).

Generalmente, estas oquedades están conectadas con un cuerpo de agua subterránea o acuífero, cuyo nivel de agua puede o no aflorar en su fondo; pero, por convención, en esa región se denominan cenotes a aquellas oquedades en las que sí aflora el agua. Asimismo, el término está asociado popularmente a las oquedades de gran tamaño; aunque las hay también de pequeñas dimensiones, muy diseminadas en toda la plataforma yucateca, que

también juegan un papel importante en la alimentación, flujo y contaminación de los acuíferos.

De acuerdo con Gutiérrez Elorza (2008), la palabra karst es la acepción germánica del término kras, que comprende una región del oeste de Eslovenia, fronteriza con Italia, y en ella los terrenos calizos aparecen desprovistos de vegetación. En esa área se realizaron las primeras investigaciones sobre el karst por las escuelas de Geomorfología de Viena y por la famosa publicación de Jovan Cvijiv de 1893: "Das Karsthphenomen". *Geogr. Abhand.*; 5, 215-319

Las formas características de las regiones kársticas son (Gutiérrez Elorza, 2008):

- Depresiones cerradas de tamaño variable
- Drenaje superficial desorganizado
- Cuevas y sistemas de drenaje subterráneo

Las depresiones cerradas tienen tamaños muy diversos, pudiendo alcanzar decenas de kilómetros de eje mayor, constituyendo **poljes**. Están desconectadas entre sí y constituyen el **exokarst**, que se caracteriza por un modelado caótico y desordenado. El drenaje superficial desorganizado es de tipo centrípeto y totalmente distinto al desarrollado en las rocas no karstificables, que es de carácter ordenado. La última característica deriva de un drenaje vertical que desarrolla una circulación subterránea, dentro de lo que se denomina **endokarst**.

Además de las rocas carbonatadas pueden presentarse aflorando formaciones constituidas por minerales muy solubles en agua como el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), la anhidrita (CaSO_4) y los cloruros (como la halita, NaCl). Estos minerales originados básicamente por evaporación (evaporitas), pueden aflorar en porcentajes pequeños a nivel global (Figura 1), pero su velocidad de disolución es mucho mayor a la de los carbonatos, lo que trae consigo una rápida morfogénesis y, como consecuencia, en su interacción con las actividades humanas, pueden dar lugar a numerosos e importantes riesgos kársticos.

Hollingsworth *et al.* (2008) consideran los siguientes tipos de karst:

Karst Carbonatado. Es un terreno con hidrología y relieve distintivos derivadas de la combinación de alta solubilidad de las rocas y de una porosidad secundaria altamente desarrollada. La velocidades del agua subterránea típicamente son mucho mayores comparadas a las del clásico medio poroso, los mecanismos de atenuación de los contaminantes son mucho menos efectivos y el flujo tiende a ser anisotrópico y heterogéneo. En la mayoría de los casos este tipo de karst es producido por disolución química debida a agua ligeramente ácida que actúa sobre capas de calizas o dolomías.

Karst Evaporítico. Es similar al karst carbonatado en el sentido de que la disolución es el proceso dominante, sin embargo, la alta solubilidad de los minerales evaporíticos produce aguas subterráneas muy mineralizadas. Así que los organismos que habitan en ambientes y ecosistemas asociados a este tipo

de terrenos deben ser más tolerantes a los sólidos disueltos. Los minerales más característicos son yeso, anhidrita y halita.

Pseudokarst. Consiste de un ambiente o relieve parecido al karst, pero en donde la disolución no es constituye un proceso crítico para la formación de cavidades, huecos aislados o pasajes conectados. El ambiente subterráneo en esas áreas es similar en muchas maneras al karst, pero debido a que no fue resultado de procesos de disolución, las características del flujo del agua subterránea, la calidad del agua y los factores ambientales son por lo regular distintos.

En la superficie, los terrenos kársticos son excelentes receptores de recarga por su gran capacidad de infiltración; en el subsuelo, transmiten el agua infiltrada a través de la red de conductos, por la cual transitan verdaderos ríos subterráneos que alimentan a los acuíferos subyacentes. Estos suelen ser muy favorables para la captación del agua subterránea, por su gran transmisividad, que se traduce en pozos de alto caudal y rendimiento.

En la República Mexicana —que hace más de 60 millones de años estuvo casi totalmente cubierta por el mar—, existen formaciones marinas calcáreas, en algunas áreas aflorando y en otras cubiertas por formaciones geológicas de origen continental, con manifestaciones de diferente tamaño y extensión, algunas de ellas espectaculares y de gran belleza. Entre éstas destacan: las Grutas de García, NL; las “pozas” de Cuatrociénegas, Coah; las “abráas” de Torreón, Coah; las Grutas de Cacahuamilpa, Gro; los pozos brotantes de la Sierra del Burro, y los “cenotes” de la península de Yucatán (figuras 2 a 6).

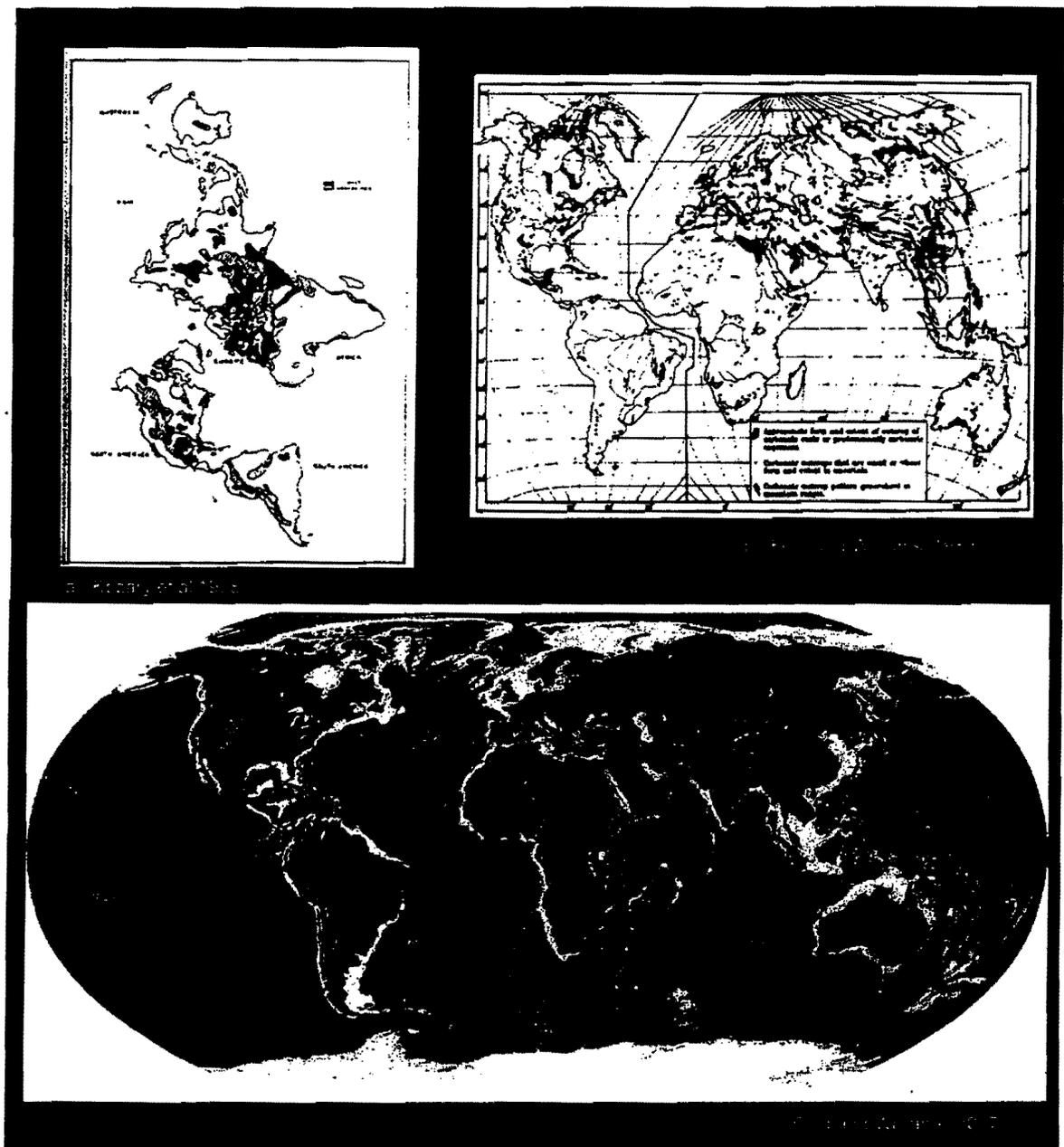


Figura 1.- Distribución de evaporitas y rocas carbonatadas en el mundo. La Figura 1a muestra las rocas evaporíticas, la mayoría de las cuales (90% of yeso/anhidrita, 99% of halita) se encuentran cubiertas (Kozary et al., 1968). La Figura 1b muestra los principales afloramientos de rocas carbonatadas en el mundo (Ford and Williams, 1989). La Figura 1c muestra la última versión de los principales afloramientos de rocas carbonatadas en el mundo (Ford and Williams, 2007). Fuente: <http://pubs.usgs.gov/sir/2008/5023/06hollings.htm>

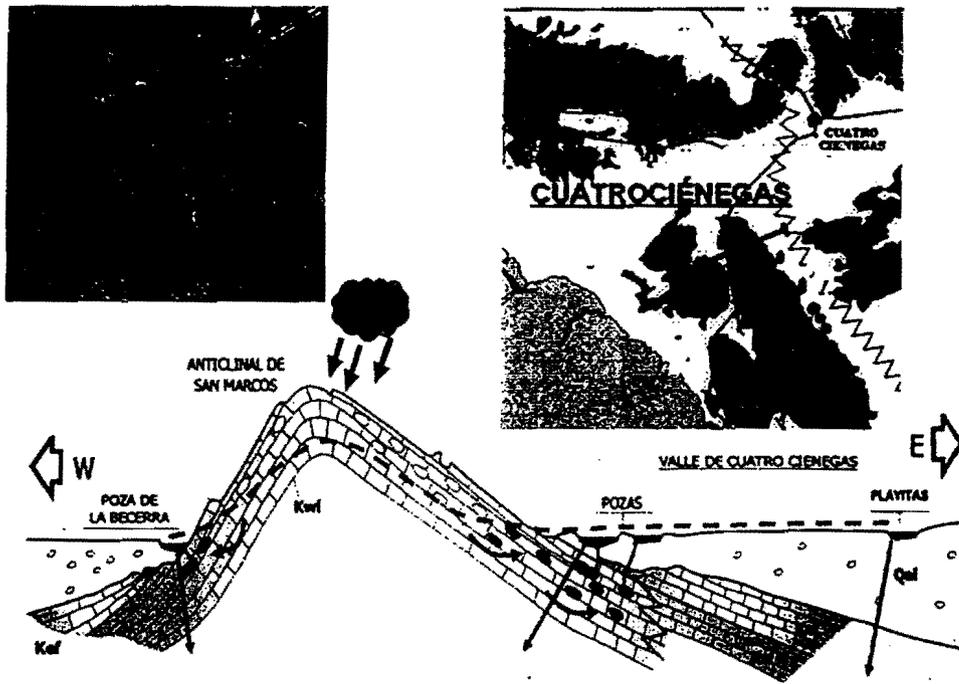
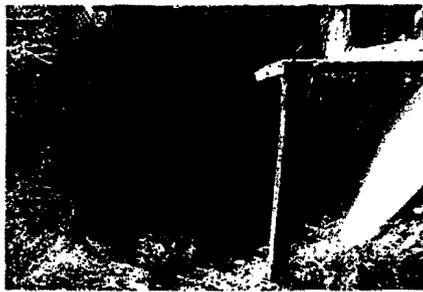


Figura 2.- Pozas de Cuatrociénegas, Coah. y esquema de flujo que las alimenta en rocas calizas de la Sierra Madre Oriental.



Sección Esquemática
Estrechamiento calabazas del Río Nazas

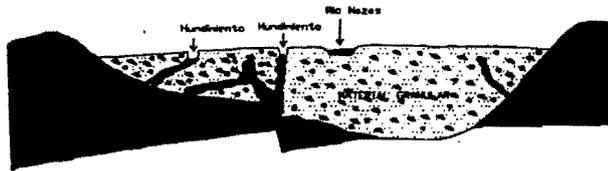


Figura 3.- "Abrás" en Torreón, Coah., generadas por el arrastre de materiales finos hacia las calizas subyacentes.

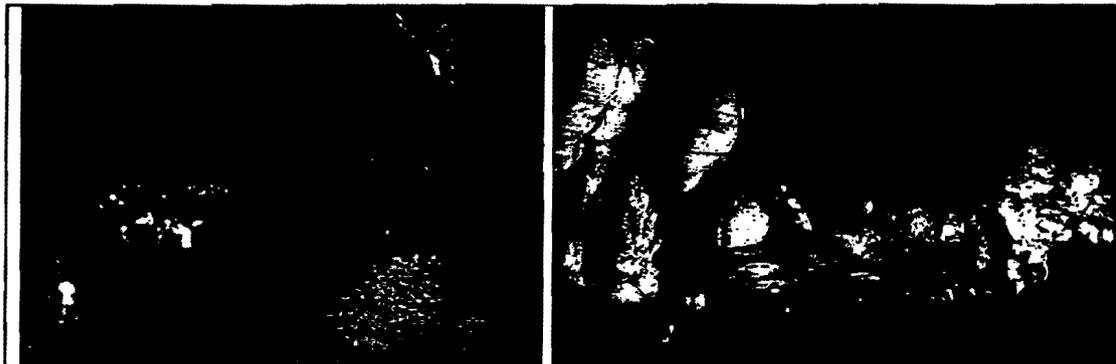


Figura 4.- Grutas de Cacahuamilpa en la Sierra de Taxco, Gro.

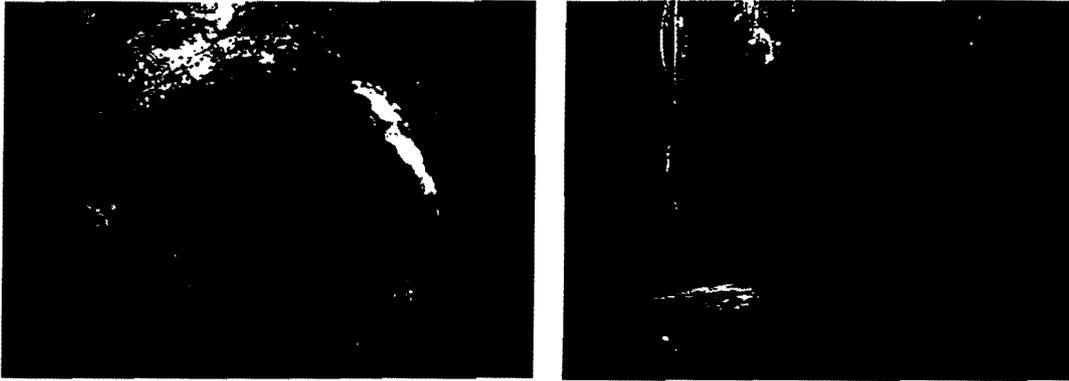


Figura 5.- Vista aérea del Cenote Sagrado de Chichén Itzá, Yuc. (izquierda). Interior de un cenote (derecha).

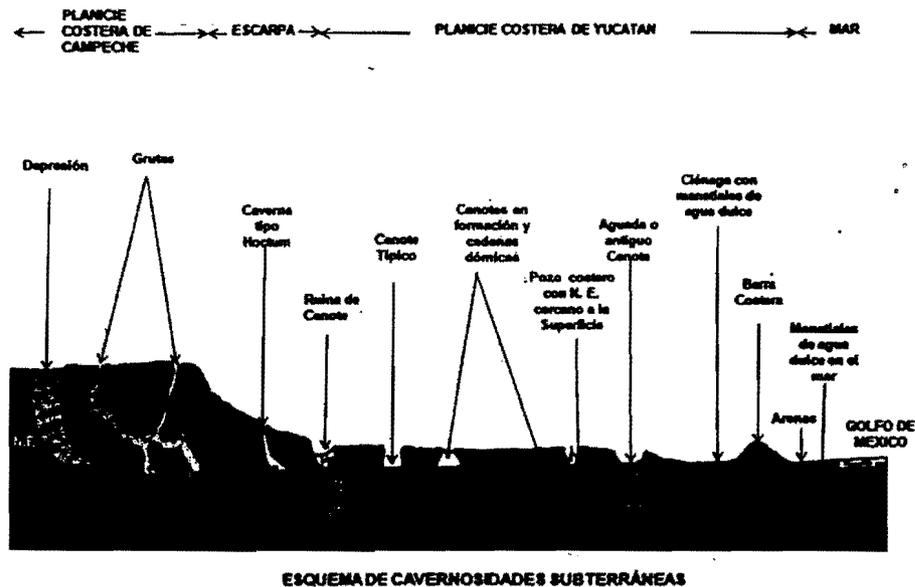


Figura 6.- Esquema de cavernosidades subterráneas en la Península de Yucatán.

CASO ESPECIAL: LA PENÍNSULA DE YUCATÁN Cenotes y Ríos Subterráneos.

Un caso muy especial se tiene en la Península de Yucatán, que comprende a los estados de Quintana Roo, Yucatán y Campeche. En esta región mexicana, las condiciones geológicas, climáticas e hidrogeoquímicas han favorecido la formación de cenotes, con dimensiones desde unos cuantos centímetros hasta

de decenas de metros de diámetro y con profundidades cercanas a los 100 metros.

Ejemplos de este tipo son: el Cenote X'lach de Dzibilchaltún, localizado a unos 15 kilómetros al norte de Mérida, que tiene 44 m de profundidad, diámetro medio de 150 m, 35 m de profundidad, nivel de agua a 3 m de la superficie, y que es la parte superficial de una gruta de dimensiones sorprendentes (20 a 30 m de ancho y 10 m de alto). El Cenote Sagrado de Chichén Itzá tiene 35 m de profundidad, diámetro medio de 60 m y espejo de agua a 22 m de profundidad.

Otros ejemplos importantes, en la porción centro-oriental de la península, son los ríos subterráneos de Ox Bel Ha, Dos Ojos y Sac Actún, de 168, 62 y 180 km de longitud, respectivamente -descubiertos mediante exploraciones geofísicas y espeleológicas-, que comprenden un gran número de cenotes y tienen trayectoria errática con orientación preferencial hacia el mar Caribe, al cual descargan considerables volúmenes de agua dulce a lo largo de la costa oriental (Figura 7a y 7b).

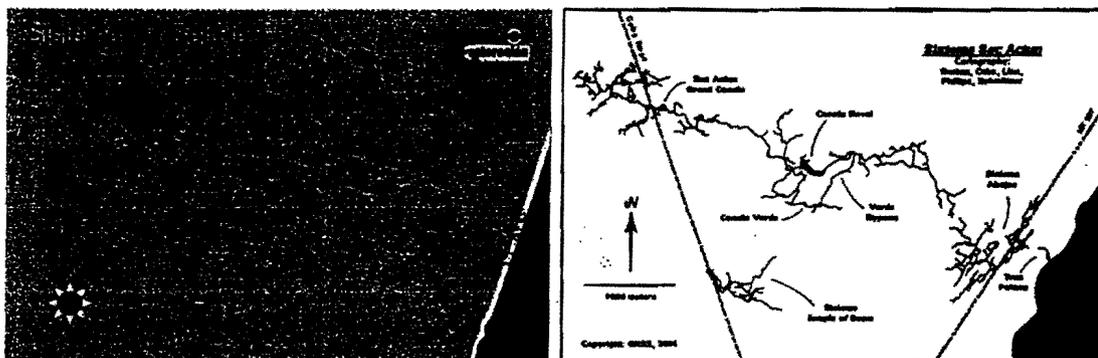


Figura 7.- Sistema de ríos subterráneos de Ox Bel Ha y Sac Actún, en Quintana Roo.

Los estudios demuestran que muchos de los cenotes más importantes están alineados y concentrados en una faja con alta densidad de fracturas en la caliza: el "anillo de cenotes", que supuestamente corresponde al borde del cráter formado por el Bólide Maya que, a finales del Cretácico, impactó la península de Yucatán y contribuyó a la extinción de los dinosaurios (Figura 8).

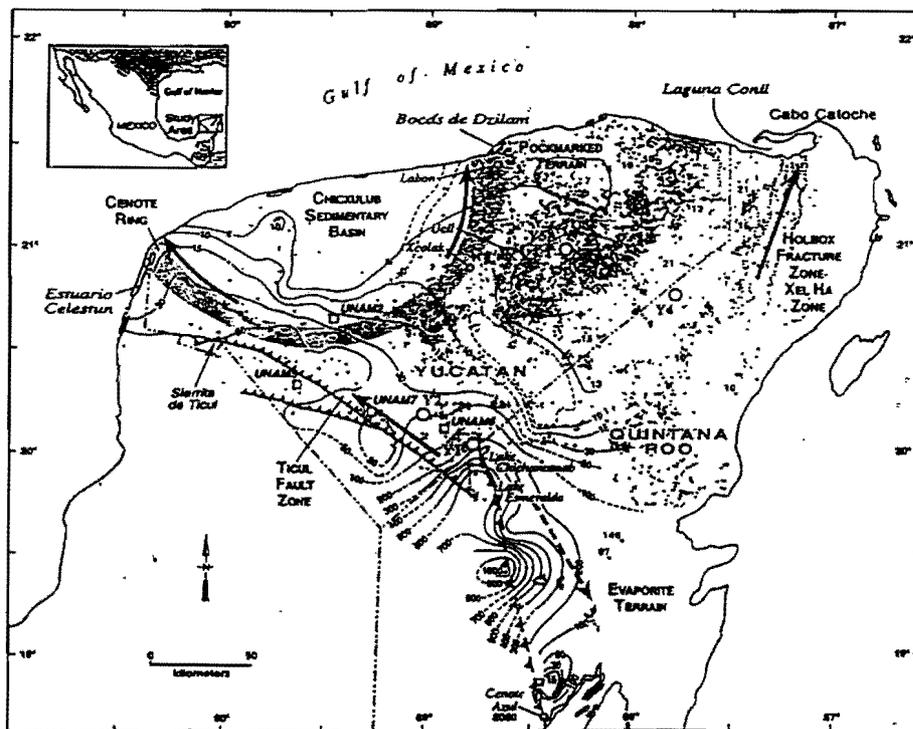


Figura 8.- Distribución regional de cenotes en la Península de Yucatán, destacando el "Anillo de Cenotes".

Los Acuíferos de la Península.

Históricamente, los acuíferos de la península yucateca han sido utilizados como la principal y casi la única fuente de abastecimiento de agua para todos los usos, ya que por sus condiciones topográficas en ella no existen ríos. Estos acuíferos constituyen una de las fuentes de agua más importantes del país, porque la topografía plana, la capacidad de infiltración y la precipitación pluvial abundante, propician una cuantiosa recarga de agua, mucho mayor que la demanda de agua actual y la previsible a largo plazo, que en su mayor parte es descargada al mar en forma natural o por transpiración de la densa cobertura vegetal.

Sin embargo, en cuanto a la calidad del agua, los acuíferos son muy vulnerables a la contaminación antropogénica y a la intrusión marina, debido a que esas rocas no tienen capacidad natural para atenuar contaminantes, como la mayoría de los acuíferos granulares continentales, que actúan como una eficiente planta de tratamiento natural. A la contaminación contribuye, en gran medida, el que la escasa pendiente topográfica y la gran dureza del terreno, no hacen económica y constructivamente viable la construcción de redes de drenaje tradicional ni la disposición de agua residualés a cuerpos receptores superficiales. Debido a ello, las aguas residuales se descargan a los acuíferos en las zonas urbanas o rurales, donde están intercaladas las captaciones sin protección sanitaria con las fosas sépticas mal diseñadas, construidas y conservadas.

Por su parte, los cenotes juegan papel importante en la contaminación de los acuíferos. Los de mayor tamaño han sido utilizados en la época presente como atractivos turísticos o como balnearios, y en la época Maya, supuestamente, como lugares de sacrificios humanos. Lamentablemente, en el presente los de mayor tamaño son también utilizados como tiraderos de basura o como cuerpos receptores de aguas residuales; los de menor tamaño, muy numerosos y ampliamente diseminados, son también receptores de aguas residuales y propician la contaminación difusa generada por el retorno de agua utilizada en las zonas agrícolas y pecuarias.

Por lo anterior, el mayor riesgo de esos acuíferos no es la sobreexplotación sino su contaminación que, de hecho, ha estado ocurriendo desde siempre, con impacto rara vez notable hasta ahora, gracias a que el agua contaminada se diluye, se dispersa y es rápidamente desalojada hacia aguas abajo, aun en la ciudad de Mérida que es la mayor concentración urbana e industrial de la región. Otro riesgo a largo plazo es el impacto del cambio climático, que provocaría el ascenso del nivel del mar, invadiendo extensas áreas costeras y provocando el adelgazamiento del acuífero dulce, ya de por sí reducido (decenas de metros).

Medidas para la Protección de la Calidad del Agua en Cenotes y Acuíferos.

Las medidas para la protección ambiental de la región tienen que considerar, en forma muy especial, las relativas a la protección de la calidad del agua subterránea, pues ésta sustenta el desarrollo de todos los sectores, guarda una estrecha interrelación con la flora silvestre y, al escapar de los acuíferos a lo largo de la faja costera, su contaminación puede afectar a la calidad del agua en manglares, humedales, desarrollos de acuicultura y playas, con serio impacto ambiental y turístico.

Estas medidas deben ser correctivas o preventivas (CONAGUA, PROFEPA...) y ser incluidas en los planes estatales o regionales de desarrollo. Específicamente, entre otros aspectos, deben considerar:

- Ordenamiento territorial atendiendo a la vulnerabilidad del acuífero y a la capacidad contaminante de los proyectos de desarrollo o existentes;
- Establecimiento de zonas locales o regionales de protección de las captaciones de agua subterránea para consumo humano;
- Lineamientos generales para la ubicación, construcción, diseño, equipamiento y operación de pozos, rellenos sanitarios y fosas sépticas;
- Instrumentación y monitoreo de la calidad del agua subterránea, que considere los aspectos relacionados con el cambio climático;
- Declaración de zonas de reserva para el abasto de agua a los centros mayores de población;

- Análisis de la viabilidad de construir diques subterráneos para protección contra la intrusión salina y para propiciar el incremento del espesor de agua dulce en las fajas costera;
- Establecimiento, en la Ley Federal de Derechos, de gravámenes sobre uso de aguas salobres/saladas y descargas de aguas residuales;
- Manejo de la cobertura vegetal y limpieza de los cenotes mayores;
- Desarrollo de modelos para el análisis de sistemas de flujo y transporte de contaminantes en ese tipo de acuíferos.

Estas medidas pueden formar parte de la Norma Oficial Mexicana (NOM) referida en el Punto de Acuerdo del 04 de febrero del 2014 de la H. Cámara de Diputados y que regularía el uso, aprovechamiento y control de sistemas kársticos en México, con la finalidad de regular las actividades antropogénicas que garanticen desarrollo sustentable y preservación de la calidad del agua.

Para la elaboración de esta NOM se debe formar un Grupo de Trabajo coordinado por la Gerencia de Normatividad, adscrita a la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento de esta Comisión.

REFERENCIAS

- Gutiérrez Elorza, M. (2008): "Geomorfología". Pearson Prentice Hall. 898p.
- Hollingsworth, E., Brahana, V., Inlander, E., and Slay, M. (2008): "Karst Regions of the World (KROW): Global Karst Datasets and Maps to Advance the Protection of Karst Species and Habitats Worldwide." US Geological Survey. <http://pubs.usgs.gov/sir/2008/5023/06hollings.htm>