

Hidrología y Fauna Acuática de los Cenotes de la Península de Yucatán*

Hydrology and aquatic fauna of the cenotes of the Peninsula of Yucatan.

Eduardo Suárez-Morales* y Evelia Rivera-Arriaga**

RESUMEN

Las características hidrológicas de la Península de Yucatán han dado lugar a la formación de sistemas limnológicos muy particulares, que incluyen aguas expuestas y subterráneas de origen cárstico. La fauna acuática de los cenotes y cuevas yucatecos ha sido estudiada desde principios de este siglo, enfatizando grupos conspicuos como los peces y macrocrustáceos. Sin embargo, se sabe relativamente poco acerca de la composición de grupos de la microfauna, como los copépodos, los ostrácodos, los anfípodos, los isópodos o los misidáceos; varios taxa de invertebrados acuáticos nunca se han estudiado en la península. En este trabajo se resume el estado actual del conocimiento de la fauna acuática peninsular, enfatizando algunos grupos microfaunísticos y se comenta sobre aspectos distribucionales o biogeográficos de algunos de ellos. La revisión efectuada indica que aunque ha habido avances recientes, la microfauna acuática de la península aún permanece poco conocida, máxime si tomamos en cuenta la enorme biodiversidad propia de esta zona tropical. Los datos generados hasta ahora representan una evidencia clara de la importancia biogeográfica que tiene esta región.

Palabras clave: Hidrología, microfauna, Península Yucatán.

ABSTRACT

The hydrological characteristics of the Peninsula of Yucatan have given cause for the systems training limnological very particular, that include exposed and underground waters of origin carstic. The aquatic fauna of the cenotes and caves yucatecos has been studied from principles of this century, emphasizing notorious groups as the fish and macrocrustáceos. However, it is known relatively little about the composition of groups of the microfauna, as the copepoda, the ostracoda, anfípoda, the isopoda or the misidacea; several taxa of aquatic invertebrates never they have been studied in the peninsula. In this work is summarized the current state of the knowledge of the peninsular aquatic fauna, emphasizing some groups microfauna and is commented on aspects distributions or biogeographic of some of they. The effected review indicates that though it has been advance recent, the microfauna aquatic of the peninsula yet stays little known, hall if take into account the huge own biodiversity of this tropical zone. The generated data up until now represent a clear evidence of the importance biogeographic that has this region.

Key word: Hidrological, microfauna, Yucatan Peninsula.

**Es para nosotros un honor poder dedicar este trabajo al Dr. Eucario López-Ochoterena por su intensa labor científica, sus valiosas aportaciones a la protozoología mexicana y por representar a una generación de científicos mexicanos que se han convertido en un modelo para las nuevas generaciones de biólogos de nuestro país... la trayectoria académica y científica del Dr. López-Ochoterena es ciertamente un ejemplo de dedicación a la ciencia y compromiso con la verdad.*

* Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)-Chetumal.

** Programa de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche.

Introducción

La Península de Yucatán es una extensa planicie de origen cárstico, que implica estructuras derivadas de disoluciones de calizas, como los cenotes, cavernas inundadas y exposiciones del acuífero en algunas zonas de la planicie (Gaona-Vizcaíno *et al.*, 1985). El mineral más común es, desde luego, el carbonato de calcio, seguido por el carbonato de magnesio, o dolomita. Ambos componentes se derivan de la depositación de los restos calcáreos de organismos marinos que producen conchas o exoesqueletos, de

moluscos y corales. Cuando estas capas de calcita se exponen a la acción del agua -pluvial o de corriente-, una parte de este material se disuelve y es acarreado por el agua. Después de muchos años de repetirse esta solubilización, tanto por arriba (lluvias) como por abajo (corrientes freáticas) de estas capas, se forman depresiones, huecos y cavernas. Estas formaciones constituyen el rasgo característico de la península.

Estas formaciones dan lugar a un sistema limnológico muy peculiar, constituido por aguas expuestas (cenotes y aguadas) y subterráneas, ambas de tipo cárstico. Las comunidades biológicas que habitan estos cuerpos de agua, fueron estudiadas desde hace décadas (Creaser, 1936, 1938; Hubbs, 1938; Pearse, 1938 a.b; Wilson, 1936, Pearse *et al.*, 1936); sin embargo, no se dio continuidad a estos estudios sino hasta recientemente.

Sin duda, los peces y los macrocrustáceos son los grupos mejor conocidos de la fauna acuática peninsular (Hobbs y Hobbs, 1976; Hobbs, 1979; Navaffo-Mendoza y Valdés-Casillas, 1990; Llifé, 1992). En cambio, se sabe relativamente poco sobre la microfauna asociada a estos cuerpos de agua. Algunos trabajos sobre grupos de invertebrados acuáticos son de Wilson (1936), sobre copépodos y cladóceros, de Yeatman (1977) sobre una especie de copépodo cyclopoide y de Furtos (1936 y 1938) sobre ostrácodos.

Estudios recientes sobre la microfauna acuática de los cenotes y cavernas de la península abarcan grupos variados cuyas características permiten vislumbrar una riqueza biológica aun desconocida. A continuación se presenta una descripción somera de las principales características geológicas e hidrológicas de la península, incluyendo un apartado sobre el origen y características de los cenotes. Esta información permitirá entender mejor los aspectos faunísticos.

Geología

Las observaciones de Butterlin y Bonet (1962, 1963) indicaron que las rocas más antiguas de la península se localizan en su zona sur y centro (Mioceno y Eoceno); las más recientes, del Pleistoceno, están en la porción norte y a lo largo de la costa oriental de la península. Fue en las primeras etapas del Cretácico cuando se ubican las primeras depositaciones masivas de carbonatos y evaporitas

que eventualmente dieron origen a la península (Weidie *et al.*, 1978). Esta enorme losa calcárea alimentada por la sedimentación de los fondos marinos fue ascendiendo con pausas y retrocesos hasta fines del Cenozoico (López-Ramos, 1974, 1976, 1983). Así, el desarrollo paleogeográfico de Yucatán se caracteriza porque en el Plioceno la parte central de la península se encontraba por encima del nivel del mar; la zona de Mérida, al norte, y Chichén Itzá y Balancanché al oriente, marcaban las líneas costeras pleistocénicas. En el Pleistoceno emergió alrededor de esta porción un margen costero que abarca la parte norte de Yucatán y Quintana Roo (Fig. 1). La última invasión del mar del Pleistoceno que cubrió la parte norte de la península se dio probablemente durante el periodo interglacial denominado Yarmouth, cuando el nivel del mar era *ca.* 30 m por encima del actual; en esa época la línea costera estaba en la base de la Sierrita de Ticul.

Hidrología

La hidrología e hidrogeología de Yucatán han sido objeto de algunos estudios; sin embargo, la información es generalizada y no se conoce el comportamiento de los factores físicos y químicos en la mayoría de los cuerpos de agua presentes en la región (Flores-Nava *et al.*, 1989).

Por debajo de la superficie de la península el agua se mueve continuamente a través de los numerosos cenotes y depresiones cársticas. Después de alcanzar la zona de saturación en las calizas, se mueve lateralmente entre las rocas cavernosas hacia la costa, donde es descargada por ojos de agua o por fisuras entre las superficies calcáreas. Así, como resultado de las condiciones de alta permeabilidad e intercomunicación subterránea, el agua se mueve libremente en los mantos freáticos; el nivel del agua se ubica no más de unos metros por encima del nivel medio del mar en toda la porción norte de la península.

La profundidad a la que yace el agua marina en los acuíferos costeros (como es el caso de los cenotes adyacentes a la zona central de la costa quintanarroense) está en función de la altura del nivel del agua dulce y de la densidad del agua marina. En ciertos casos, el agua de mar yacerá a tal profundidad por debajo del acuífero que la columna de agua dulce se balanceará con una

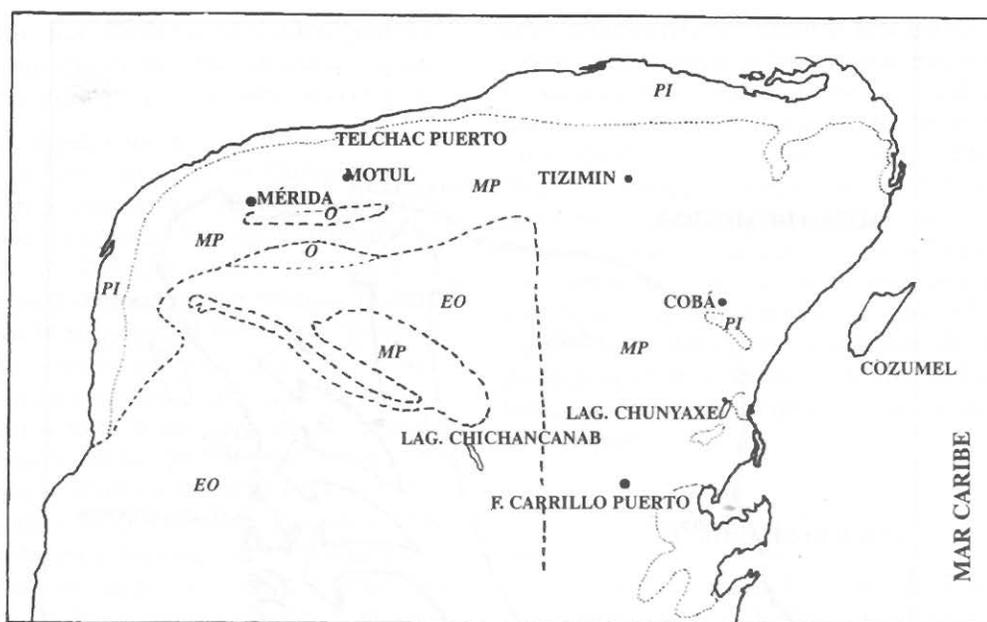


Figura 1. Geología general de la Península de Yucatán (López-Ramos, 1976). MP. Mioceno-Plioceno. PI. Pleistoceno. EO. Eoceno. O. Oligoceno. Las líneas seccionadas indican lo que fue la costa pliocénica; las líneas de puntos indican la costa pleistocénica.

columna -más pesada y densa- de agua marina. Así, en condiciones ideales de densidad (1 para el agua dulce y *ca.* 1.025 para la marina), el contacto entre ambos tipos de agua se ubicará unos 12 metros bajo el nivel del mar por cada 30 cm que el nivel de agua dulce esté por arriba del nivel medio del mar. Si el nivel del mar se mantuviese a un nivel constante, y si las recargas del acuífero se diesen a intervalos regulares, la interfase agua dulce/marina permanecería estable y el agua marina estaría estática y sólo el agua dulce se movería hacia la costa, como si la capa marina subyacente fuese impermeable (Stringfield y LeGrand, 1974). Sin embargo, las mareas y las variaciones de descarga-recarga (pluvio-dependientes) generan perturbaciones en este escenario ideal, haciendo que el nivel de la interfase tenga variaciones. En algunos casos la interfase es muy clara (como en varios de los cenotes más cercanos a la costa), y en otros se genera un estrato de mezcla con condiciones salobres.

De acuerdo con Doehring y Butler (1974), la alta permeabilidad de las rocas de la zona norte de Yucatán ha favorecido la creación de un sistema más o menos homogéneo en el que el agua dulce yace por encima de aguas salinas. El modelo hidrológico simplificado de estos autores establece que en las

zonas internas (planicie central) de la península, que reciben una precipitación pluvial intensa, se genera una presión hidrostática que hace que el agua subterránea fluya de las porciones centrales hacia las zonas costeras. Así se explican las emisiones freáticas que son evidentes en las bahías, estuarios y otros sistemas litorales, y que provocan cambios en la salinidad sin la presencia de flujos superficiales o de precipitaciones. Estos flujos no corren propiamente como ríos subterráneos, sino que se escapan por las numerosas fracturas de las rocas. Aparentemente el flujo del drenaje subterráneo peninsular forma una "Y" que parte de la zona alta de la meseta de Zohlaguna; uno de los ramales se dirige hacia la zona de Río Lagartos, y el otro va hacia el noreste de la península, descargando sus aguas por debajo del nivel litoral (Merino y Otero, 1991). Las descargas freáticas hacia la zona costera promedian del orden de 8.6 mill. m³/km de costa/año para todo el litoral de la Península de Yucatán al norte del paralelo 19° 30' (Back, 1985). Los máximos valores promedio de descarga se encuentran a lo largo del litoral oriental (*ca.* 77 mill. m³/km/año), en el área de Xel-Ha; en esta zona el promedio anual de precipitación es de los más elevados de la península. En la Fig. 2 se muestra un diagrama en el que se conjuntan varios elementos aportados por

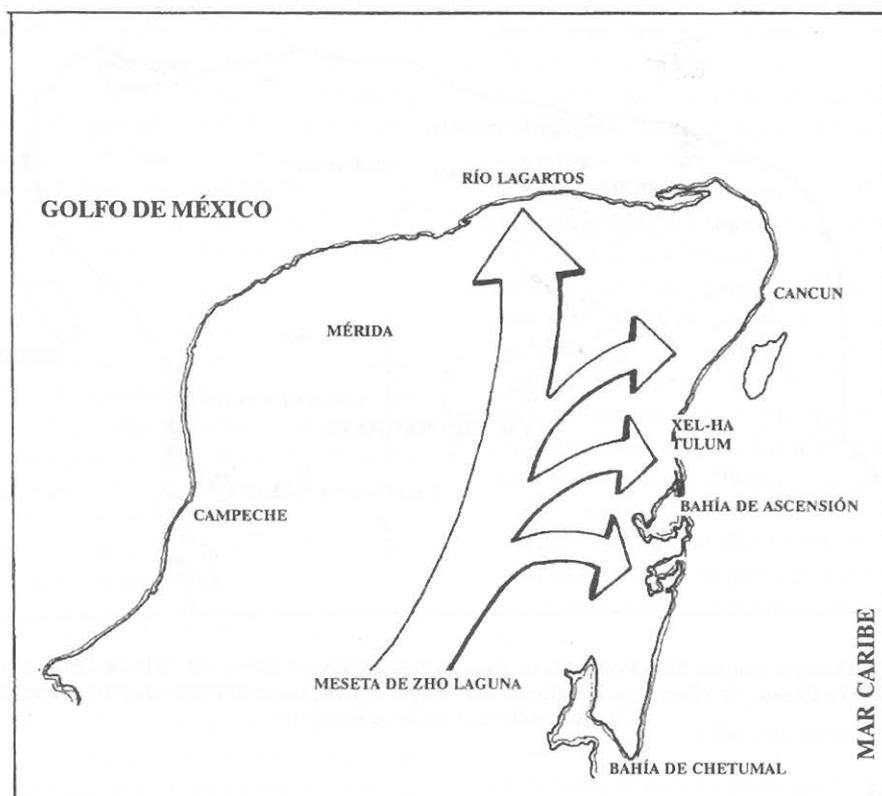


Fig. 2. Diagrama de la tendencia general de los flujos freáticos en la Península de Yucatán (modif. de Inst. de Geogr., U.N.A.M., 1980).

distintos autores (Doehring y Butler, 1974; Back, 1985; Merino y Otero, 1991) sobre la hidrología general de la península y su efecto en la zona costera.

Cenotes

Los cenotes (dzonot o tz-onot en maya; sinkholes en inglés) constituyen el rasgo característico de las planicies yucatecas; son formaciones generadas a partir de los procesos de dilución de las rocas de carbonato de calcio por la acción pluvial del ácido carbónico (Back y Hanshaw, 1978) y por el paso de las aguas subterráneas. El desgaste de la roca va formando bóvedas inundadas de distintos tamaños y conformaciones; llega un momento en el que el techo de estas bóvedas se adelgaza tanto que se desploma y la parte inundada queda expuesta total o parcialmente (Stringfield y LeGrand, 1974). Los cenotes y las llamadas aguadas, que son someras depresiones inundadas -o secas en ciertas épocas- que aparecen frecuentemente asociadas con los cenotes,

se muestran con cierto alineamiento o agrupación. Si se consideran los factores que dan origen a los cenotes, es fácil imaginar o establecer que su distribución posiblemente no es azarosa. Además de las aguadas, que pueden ser varias asociadas a un solo cenote, es posible encontrar otras depresiones no inundadas, o inundadas en ciertas épocas (hoyas), también asociadas a los cenotes. El número de cenotes que existe en la zona norte de la península es aún indeterminado; de acuerdo con López-Omat (1983), el número estimado de cenotes de más de 100 m de diámetro es de 35 en la selva y 26 en las marismas; el número de lagunas continentales de más de 100 m se estimó en 77. Es necesario ampliar los censos de estos cuerpos de agua continentales en toda la península (Navarro-Mendoza *et al.*, 1988).

Hall (1936) clasificó a los cenotes según su forma: 1.- Cenotes en forma de vaso con una abertura pequeña; 2.- Cenotes con paredes verticales, en forma de vaso y con una abertura grande. 3.- Cenotes tipo aguada, que consisten de cámaras con paredes

en pendiente que llevan a una poza somera.
4.- Cenotes tipo cueva, con una entrada lateral que desciende a una cámara que contiene agua (Fig. 3).

Una segunda clasificación de los cenotes, basada en un estudio de estos sistemas en Quintana Roo, México (Navarro-Mendoza *et al.* 1988), separa dos tipos generales de cenotes. A) Cenotes ubicados en la línea costera (cientos de metros a 1-2 km de la costa), con agua dulce y marina mezcladas de manera más o menos homogénea, dando como resultado aguas salobres en la columna de agua, sin una haloclina; las termoclinas son débiles y en su profundidad se nota la influencia del régimen de mareas. Las paredes son básicamente de rocas no consolidadas, cubiertas por mangle y materia orgánica compacta, con cavernas asociadas. Este tipo de cenotes muestra una fauna ictiológica con componentes de origen marino que ingresan estacionalmente. Estos cenotes adquieren un color amarillo-verdoso en época de lluvias; en secas son muy transparentes. B) Cenotes ubicados más alejados de la costa que el tipo anterior (3-8 km de la costa), tienen agua dulce o ligeramente salobre;

estos cenotes pueden mostrar una haloclina muy fuerte en las entradas de las cavernas, frecuentemente comunicadas con el mar. Dependiendo de la época del año, se puede presentar una fuerte termoclina (una capa de 28 a 32°C por encima de una capa de 24-25°C). Aunque el contacto con el mar no resulta tan evidente en este tipo de cenotes como en el tipo anterior, fisuras o grietas permiten la entrada y filtración de agua marina y frecuentemente se forma una capa de agua marina por debajo de la gruesa capa de agua dulce. En los sistemas de cavernas asociados con estos cenotes es posible hallar fuertes haloclinas, con cambios de 1 a 35 ‰ en unos pocos centímetros.

Fauna de cenotes

En la zona epicontinental de Quintana Roo y en las zonas central y norte de Yucatán, se han realizado estudios que permiten describir algunos aspectos de la microfauna que habita en los cenotes. Los cladóceros, crustáceos branquiópodos, fueron estudiados en los cuerpos de agua de una extensa

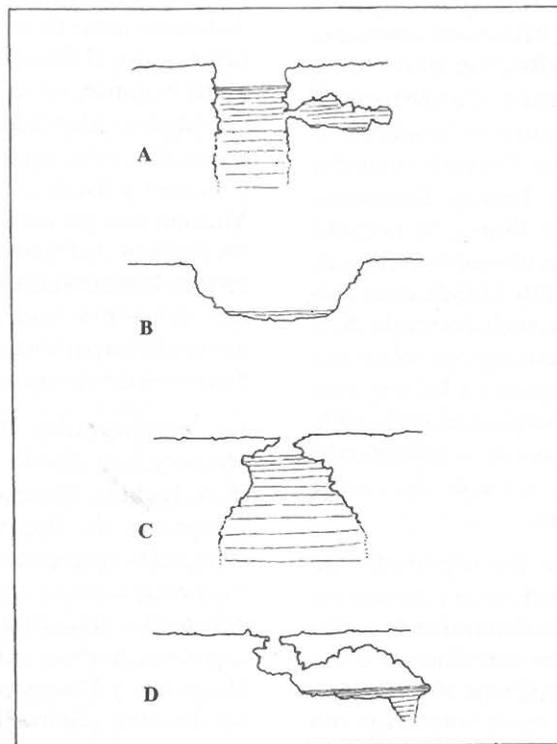


Figura 3. Tipos de cenotes de acuerdo a la clasificación de Hall (1936). a. Cenote típico en forma de vaso (forma variante: con galerías inundadas anexas). b. Cenote tipo aguada. c. Cenote con abertura estrecha a una galería amplia (puede tener cuevas asociadas). d. Cenote tipo cueva.

zona de la planicie central y de la costa oriental, registrándose la presencia de 11 especies: *Daphnia hyalina* (Leydig), *Daphnia pulex* (Leydig), *D. galeata* (Sars), *D. longispina* (Mueller), *Simocephalus seffulatus* (Koch), *Ceriodaphnia rigaudi* (Richard), *C. cornuta* (Sars), *Moina micrura* (Kurz), *M. affinis* (Birge), *Echinisca rosea* (Jurine) y *Latonopsis fasciculata* (Daday) (Wilson, 1936; Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez, 1992). Dado el número de especies registradas para México (ca. 90) y para Norte y Sudamérica (ca. 300) es evidente que aún falta mucho por conocer acerca de la composición y distribución local y regional de este grupo de microcrustáceos, con muestreos más amplios que incluyan también las zonas litorales de los cenotes, frecuentemente ricas en este tipo de fauna.

El período histórico de descubrimiento y descripción de los ostrácodos en Centroamérica y el Caribe insular terminó a principios de este siglo (McKenzie, 1982). Los ostrácodos de los cenotes han sido tratados en los trabajos pioneros de Furtos (1936, 1938). Este autor identificó 7 especies de los cuales 3 son propias de cavernas (*Cypridopsis inaudita* Furtos, *C. mexicana* Furtos y *C. yucatanensis* Furtos). Las especies restantes son: *Cypridopsis niagrensis* Furtos, *C. rhomboidea* Furtos, *Metacypris americana* Furtos, *Darwinuta stevensoni* (Brady & Robertson), *Herpetocypris meridiana* Furtos, *Candonocypris serratomarginata* Furtos, *Cyprinotus symmetricus* (G.W. Mulier), *C. putei* Furtos, *Eucypris cisternina* Furtos, *E. serratomarginata* Furtos, *Strandesia intrepida* Furtos, *S. obtusata* (Sars), *Stenocypris fontinalis* Yavra y *Chlamydotheca texasiensis* (Baird). Recientemente Kornicker e Llife (1989), describieron a *Danielopolina mexicana*, un halocíprido de la familia Thaumatoocyprididae; esta especie solamente se ha encontrado en la zona cercana a Tulum y es la especie más primitiva del género (Danielopol, 1990). Sin embargo, debido a lo escaso de la información sobre el grupo, es poco lo que se puede decir sobre su biogeografía en la península.

En el primer estudio sobre los copépodos de Yucatán, Wilson (1936) registró varias especies, sin embargo la mayor parte de las determinaciones de este material son consideradas actualmente como poco confiables (Rocha y Hakenkamp, 1993; Suárez-Morales et al., 1996). A partir de un amplio estudio sobre los copépodos de los cenotes en la Península de Yucatán (Suárez-Morales et al., 1996), se ha generado información relevante y nueva acerca de este grupo de microcrustáceos. Hasta el momento

se han registrado cerca de 45 especies en la península, de las cuales al menos 25 están representadas en los cenotes epicontinentales de la zona central de Quintana Roo. Una de las especies predominantes en estos cuerpos de agua es el calanoide *Arctodiaptomus dorsalis* (Marsh), que llega a ser muy abundante en algunos cenotes (Suárez-Morales, 1991) y se considera indicador de cuerpos de agua eutróficos (Dussart, com. pers.). Aparentemente sólo se encuentra en los cenotes contenidos dentro de la franja costera de la porción central de Quintana Roo, ya que no se ha registrado en el resto de la península o en otras zonas de México. Esta especie es sustituida en la porción norte de la península, por alguna de las tres especies del género *Mastigodiaptomus* (*M. texensis* M. S. Wilson, *M. albuquerqueensis* Heric, *M. nesus* Bowman) presentes en esta franja. Otras especies de copépodos planctónicos y/o bénticos registradas en cenotes de esta franja son: el calanoide *Pseudodiaptomus marshi* (Wright), recientemente registrado en México por Suárez-Morales y Reid (1994) junto con el cyclopoide *Eucyclops conrowae* Reid. También se distribuyen en esta zona y en otras porciones de la península especies como el calanoide: *Leptodiaptomus novamexicanus* (Herrick), y el cyclopoide *Halicyclops caneki* Fiers, el único representante de la subfamilia Halicyclopininae en la península. En general, los copépodos calanoides presentan ámbitos de distribución más estrechos que los cyclopoides (Dussart y Defaye, 1995); en la Península de Yucatán esta premisa se cumple, pues ninguna de las especies de Calanoida registradas se distribuye en toda la península y los datos distribucionales con que se cuenta sugieren que cada una de ellas presenta un patrón que tiende a ser propio, con un bajo nivel de intergradación de ámbitos.

Los cyclopoides *Eucyclops agilis* (Koch), *Macrocyclops albidus* (Jurine), *Mesocyclops edax* (S.A. Forbes), *Thermocyclops tenuis* (Marsh, 1909) y especies de *Tropocyclops* y *Apocyclops*, son copépodos tropicales de amplia distribución que frecuentemente se encuentran en los cenotes de la península. Recientemente se hallaron cuatro especies nuevas pertenecientes a los géneros *Diacyclops* y *Mesocyclops* que están en proceso de ser descritas (Suárez-Morales et al., 1996; Fiers et al., en prep.). Es posible que varias de estas especies resulten ser endémicas, como lo son varias de la fauna Troglobia local (Llife, 1992). Se han encontrado algunas especies de copépodos harpacticoides de

las familias Canthocamptidae y Ameiridae, que son las más comunes en aguas continentales; en la península coinciden especies muy comunes en aguas continentales como *Cletocamptus deitersi* (Richard) y *Nitokra lacustris* (Schmankewitsch) y también formas poco comunes, incluyendo nuevas especies de géneros como *Nitociella* y *Nitokra* (Fiers, com. pers.) (Reid, 1990).

Aquí es importante señalar que en las muestras de varios cenotes de la zona epicontinental de Quintana Roo se han registrado especies de copépodos plenamente marinos, como los poecilostomatoides *Farranula gracilis* Dana, *F. rostrata* Claus y al menos una especie de un calanoide del género *Candacia*. Esto confirma, desde luego, la gran influencia marina que reciben estos cuerpos de agua en la zona cercana a la costa; como se ha visto, las aguas marinas invaden los estratos más profundos de los cenotes costeros (Navarro-Mendoza *et al.*, 1988) en toda la porción epicontinental central de la península. Es previsible la presencia de estos y otros zoopláncteres de origen y afinidad plenamente marinos por debajo de la interfase agua dulce/marina en estos cenotes. Desde luego, no se espera esta influencia marina en cenotes más alejados de la costa o en los cenotes de la planicie peninsular centro-norte en el estado de Yucatán. Así, desde el punto de vista del estudio de la fauna, los cenotes costeros y las cuevas inundadas adyacentes son sistemas muy especiales que deben ser conservados totalmente para continuar con su estudio.

Muchos cenotes o cuevas tienen pozas anquialinas asociadas, producto de la invasión de aguas de origen marino que quedaron atrapadas después de las regresiones marinas. Este término (anquialino) fue acuñado por Holthuis (1973) para definir cuerpos de agua sin conexión con el mar pero inundadas con agua salada o salobre que fluctúa con las mareas; en algunos casos, por encima de esta agua salada o salobre hay una capa de agua dulce, formándose una haloclina muy fuerte (Lliffe, 1992). En la zona de Tulum se encuentra uno de los sistemas de cuevas inundadas más grandes de México, con un pasaje recorrido de más de 15 km; otros sistemas de cuevas explorados que han resultado ser extensos son: cenote Sac Actún, en la misma zona con pasajes explorados de 4,500 m y el cenote Carwash, con más de 2.5 km explorados (Lliffe, 1992).

Desde el punto de vista faunístico, destaca en estas cuevas inundadas cercanas a Tulum, el hallazgo de

Tulumella unidens Bowman & Lliffe, un crustáceo thermosbaenáceo que pertenece a un grupo cercano a los misidáceos y que está adaptado al ambiente anquialino; constituye sólo una muestra de la aun insospechada riqueza biológica que permanece desconocida en los cenotes. La importancia del hallazgo de este thermosbaenáceo en la Península de Yucatán, reside en que complementa otros registros biogeográficos de este pequeño grupo en el Caribe, el sur de los Estados Unidos, las Islas Canarias, el Mediterráneo, Somalia y Cambodia; en conjunto su distribución ha sido considerada como indicio de su origen tethiano y asociado con la separación de la Pangea después del Jurásico (Cals & Monod, 1988).

Es también muy destacado el hallazgo en cuevas de esta misma zona de Tulum (cenote Carwash), del remipedio *Speleonectes tulumensis* (Yager). De este grupo (Clase Remipedia) de crustáceos, sólo se conocen unas cuantas especies en el mundo. Son los crustáceos más primitivos conocidos hasta ahora y las especies anquialinas carecen de ojos y de pigmentación. En particular el género *Speleonectes* sólo tiene cuatro especies, todas ellas anquialinas. Este género se ha encontrado en Bahamas, Islas Canarias, México (Quintana Roo, cerca de Tulum) y Belice; la especie sólo se ha reportado en Quintana Roo y Belice (Yager, 1987; Lliffe, 1992). Sus relaciones biogeográficas y evolutivas aún permanecen oscuras.

Los anfípodos *Mayaweckelia cenotocola* Holsinger *M. yucatanensis* Holsinger y *Tuluweckelia cernua* Holsinger, carecen de ojos y de pigmentación, tal como ocurre con otros organismos adaptados a los ambientes anquialinos (Holsinger, 1977, 1990). *Mayaweckelia cenotocola* sólo se conoce en la península y ha sido encontrada en los tres estados peninsulares (Holsinger, 1990). Tiene afinidades taxonómicas con formas marinas, aunque se trata de una especie propia de ambientes continentales; esta afinidad podría estar asociada con los procesos de transgresión marina que se dieron en el Terciario tardío y los inicios del Cuaternario. Así, una forma marina ancestral pudo haber quedado atrapada en estas aguas después de la regresión y producir esta forma continental. Algo similar parece haber ocurrido con el otro anfípodo (*T. cernua*), cuyos ancestros marinos colonizaron cavernas durante el Pleistoceno; su distribución cerca de la línea costera apoya este postulado (Holsinger, 1990). Otro anfípodo común en cenotes abiertos de Quintana

Roo es *Hyaella azteca* (Saussure); la especie *Quadrivision lutai* (Shoemaker) de afinidad marina, suele encontrarse en los cenotes más cercanos a la costa.

Los isópodos cirolánidos *Bahalana mayana* (Bowman, 1987) y *Creaseriella anops* (Creaser, 1936) parecen haberse derivado de ancestros marinos que quedaron atrapados en las regresiones marinas (Wilkins, 1982).

Dentro del grupo de los misidáceos destaca la especie *Antromysis cenotensis* Creaser, que es propia de ambientes troglobíticos y carece de ojos y de pigmentación. De las ocho especies conocidas del género, sólo 4 se distribuyen en México (en Yucatán, Quintana Roo y Oaxaca). En algunos sitios llega a ser muy abundante (Liffé, 1992). La distribución del género en Yucatán, Cuba y Jamaica, sugiere que se derivó de un ancestro marino que colonizó cuevas costeras en el Caribe.

Hasta 1977 se conocían unas 37 especies de grupos como los ostrácodos (17), los copépodos (14) y los cladóceros (6). En el caso de los ostrácodos la única adición reciente es una especie de *Danielopolina* pues los primeros registros de Furtos (1963, 1938) no han sido ampliados. En el caso de los copépodos, el número de especies registradas en la península casi se cuadruplicó, y en el caso de los cladóceros aumentó en 5 especies. Hay grupos propios de la microfauna de aguas continentales que permanecen totalmente desconocidos en Yucatán, como los protozoarios (Sarcodina, Ciliophora, Zoomastigina, los gastrotricos, los nemátodos de vida libre, los crustáceos, anostráceos, conchostráceos y branquiuros, los tardígrados y los rotíferos.

Macrofauna

Los crustáceos decápodos *Typhlatya mitchelli* (Hobbs & Hobbs), y *T. pearsei* (Creaser), son especies muy cercanas (Hobbs y Hobbs, 1976). También derivadas de un ancestro marino en el Caribe, se les atribuye una evolución simultánea en los ambientes cavernícolas (Wilkins, 1982). Según Hobbs *et al.* 1977 la distribución conocida del género, los ancestros alcanzaron las islas de la región centroamericana en el Mioceno o Plioceno. Otro crustáceo decápodo interesante del género es *Typhlatya campechae*, registrado sólo en las grutas de Xtacumbilxunam, Campeche (Reddeli, 1977). *Creaseria morleyi*

(Creaser, 1936) también se derivó de un ancestro marino atrapado durante el Pleistoceno (Wilkins, 1982). *Somersiella stefferi* (Hart & Manning) encontrada en Cozumel, es considerada como un relicto de Tethys (Liffé *et al.*, 1983). Otros componentes de la fauna anquialina peninsular son: el anfípodo *Bahadzia* sp, y los crustáceos decápodos *Agostocaris bozanici* (Kensley), *Yagerocaris cozumel* (Kensley) y *Janicea antiguensis* (Chace, 1972), sólo observados en Cozumel (Liffé, 1992).

En los cenotes más alejados de la costa, no ingresan componentes ícticos marinos; solamente aparecen especies primarias (totalmente dulceacuícolas) o secundarias (derivados de mayor tolerancia, no marinos) (Navarro-Mendoza *et al.*, 1988). La comunidad de peces que se puede encontrar en los cenotes costeros (tipo A) posiblemente sea más rica en especies que la que se pueda encontrar en el resto de la península. Esto se debe, por una parte, a la cercanía con la zona costera, que permite la presencia de derivados marinos y de formas eurihalinas, y por la otra, a que esta franja costera emergió mucho después que la parte central -axial- de la península, favoreciendo así una representación mayor de derivados marinos en estos cuerpos de agua (Wilkins, 1982). Estas especies son las siguientes: *Astyanax fasciatus* (Cuvier, 1819), *Cichlasoma urophthalmus* (Günther, 1862), *C. friedrichsthalii* (Haeckel, 1840), *C. meeki* (Brind, 1918), *C. octofasciatum* (Regan, 1903), *C. robertsoni* (Regan, 1905), *C. salvini* (Günther, 1862), *C. synspilum* (Hubbs, 1935), *Petenia splendida* (Günther, 1862), *Eleotris picta* (Kner & Steindachner, 1863), *Lophogobius cypripoides* (Pallas, 1770), *Megalops atlanticus* (Valenciennes, 1847), *Belonesox belizanus* (Kner, 1860), *Gambusia yucatanica* (Regan, 1914), *Poecilia orri* (Fowler, 1943) y *Anguilla rostrata* (Lesueur, 1817). En las cuevas adyacentes y en otras de la península se han reportado varias especies troglobíticas: *Ogilbia pearsei* (Hubbs, 1938), *Symbranchus marmoratus* (Bloch, 1795) y *Lucifuga* sp. (Navarro-Mendoza *et al.*, 1988; Navarro-Mendoza y Valdés-Casillas, 1990; Gamboa-Pérez, 1992). El número de especies determinadas en los cenotes de Yucatán sobrepasa las 50 (Hubbs, 1938; Navarro-Mendoza *et al.*, 1988; Gamboa-Pérez, 1992).

Algunos de estos peces representan recursos acuiculturales que pueden ser aprovechados; tal es el caso de *Petenia splendida*, cuyo cultivo presenta considerables ventajas para las zonas rurales de la

península. En términos de protección y conservación de la ictiofauna, destacan varias especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción cuyo valor científico las convierte en motivo de preocupación para ecólogos y ecologistas; entre estas especies se pueden nombrar las siguientes: *Cyprinodon beltrani* (Alvarez, 1949), *C. labiosus* (Humphries & Miller, 1981), *C. maya* (Humphries & Miller, 1981), *C. simus* (Humphries & Miller, 1981), *C. verecundus* (Humphries, 1984), *Olgilbia pearsei* (Hubbs, 1938) y *Ophisternon infernale* (Hubbs, 1938) (Gamboa-Pérez, 1992, 1993). Navarro-Mendoza y Valdés-Casillas (1990) han recomendado la inclusión de las subespecies de *Rhamdia guatemalensis* (*R. g. decolor*, *R. g. depressa* y *R. g. sacrificii*) en este listado como especies en peligro de extinción, tanto para Yucatán como para Quintana Roo.

Conclusiones

Dado el auge turístico de la región costera central de Quintana Roo y el uso intensivo que le dan los visitantes a estos cuerpos de agua en el resto de la península, es importante considerar que los cenotes forman parte de un sistema límnic que debe ser protegido y preservado en su conjunto y no aisladamente.

La suma total de especies de invertebrados acuáticos hasta ahora conocidos en la Península de Yucatán es de 89. Este número se divide de la siguiente manera: ostrácodos (18), cladóceros (11), copépodos (43), anfípodos (5) isópodos (2), remipedios (1), thermosbaenáceos (1), decápodos (8).

Desde el punto de vista faunístico los cenotes representan un sistema de gran riqueza faunística que aún no ha sido explorado suficientemente. Se deben profundizar los estudios taxonómicos y ecológicos en estos cuerpos de agua e idealmente establecer un sistema de monitoreo que incluya no solamente aspectos faunísticos, florísticos y de relaciones tróficas, sino aspectos de control estrictamente hidrológico (biogeoquímica, variaciones temporales y espaciales de parámetros físicos y químicos).

En estos cuerpos de agua habitan especies de peces propias de la zona que son potencialmente cultivables y otras que pueden considerarse como amenazadas o en peligro de extinción.

El estudio faunístico de las cuevas anquialinas en la península permite profundizar nuestro conocimiento sobre diversos aspectos biogeográficos y evolutivos de gran interés que no han sido estudiados convenientemente.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del "Estudio de caracterización ecológica de los predios Mayaluum, Xaac, Paraíso Xel-ha, y Tulum Ecological Resort, en el corredor Cancun-Tulum, Quintana Roo", realizado por el Programa de EPOMEX/ECOMAR, A.C. en 1994.

Literatura citada

- Back, W. 1985.** Hydrogeology of the Yucatan. In: Ward, W.C., A.E. Weidie & W. Back (eds.). *Geology and hydrogeology of the Yucatan and Quatemary geology of northeastern Yucatan Peninsula*. New Orleans Geological Society. U.S.A.: 99-119.
- Back, W. & B.B. Hanshaw. 1978.** *Hydrogeochemistry of the Northern Yucatan Peninsula, with a section on Mayan water practices*. Field Seminar on water and carbonate rocks of the Yucatan Peninsula, Mexico. New Orleans Geological Society. Miami, Florida.
- Bowman, T.E. 1987.** *Bahalana mayana*, a new troglobitic cirrolanid isopod from Cozumel Island and the Yucatan Peninsula. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 100: 659-663
- Butterlin, J. y F. Bonet. 1962.** *Las formaciones cenozoicas de la parte mexicana de la Península de Yucatán*. Publ. Inst. Geología de la U.N.A.M.
- Butterlin, J. y F. Bonet. 1963.** Mapas geológicos de la Península de Yucatán. I. Las formaciones cenozoicas de la parte mexicana de la Península de Yucatán. *Ingen. Hidr. Méx.* 17:63-71.
- Cals, P. y T. Monod, 1988.** Évolution et biogéographie des Crustacés Thermosbénacés. *Comt. Rend. Acad. Sci. Paris.* 307: 341-348.
- Creaser, E.P. 1936.** Crustaceans From Yucatan. *Carnegie Int. Washington Publ.* 457:117-132.
- Creaser, E.P. 1938.** Larger cavecrustacea of the Yucatan Peninsula. *Carnegie Int. Washington Publ.* 491: 159-164.

- Danielopol, D.L., 1990.** The origin of anchialine cave fauna, the "deep sea" versus the "shallow water" hypothesis tested against the empirical evidence of the Thaumatoocyprididae. *Bijdr. tot Dierk.*, 60:137-143.
- Doehring, D.O. & J.H. Butler. 1974.** Hydrogeologic constraints on Yucatan's development. *Science*. 186(1974): 591-595.
- Dussart, B.H. / D. Defaye. 1995.** *Introduction to the copepoda. Guides to the identification of the macro invertebrates of the continental waters of the world.* 7.SP.B Acad. Publishing. Amsterdam. 277 p.
- EPOMEX/ECOMAR, A.C., 1994.** *Caracterización ecológica correspondiente a cuatro megaproyectos turísticos Mayaluum, Xaac, Paraíso Xel-ha, y Tulum Ecological Resort, en el corredor Cancun-Tulum, Quintana Roo*, 4 tomos, anexos, figuras y mapas.
- Flores-Nava, A., Valdéz-Lozano, D. y M. Sánchez-Crespo. 1989.** Comportamiento fisicoquímico de una manifestación cárstica de Yucatán. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México.* 16(2):223-230.
- Furtos, N.C. 1936.** On the ostracods from the cenotes of Yucatan and vicinity. In: Pearse A.S. & E.P. Creaser (eds). The cenotes of Yucatan. *Carnegie Inst. Washington Publ.* 457:89-115.
- Furtos, N.C. 1938.** A New species of Cypridopsis from Yucatan. *Carnegie Inst. Washington Publ.* 491:155-157
- Gamboa-Pérez, H. 1992.** Peces continentales de Quintana Roo. In: D. Navarro y E. Suárez Morales (eds.). *Diversidad biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México.* Centro de Investigaciones de Quintana Roo/SEDESOL. México. 305-360.
- Gamboa-Pérez, H. 1993.** Peces continentales endémicos y en peligro de extinción de Quintana Roo. *AvaCient, ITCh.* 5:13-23.
- Gaona-Vizcaíno, S., M. Villasuso-Pino, J. Pacheco, A. Cabrera, J. Trejo, G.A. Tuche, C. Tamayo, V. Coronado, J. Durazo y E. Perry. 1985.** Hidrogeoquímica de Yucatán I: perfiles hidrogeoquímicos profundos en algunos lugares del acuífero del noroeste de la Península de Yucatán. *Inst. Geofis., Univ. Nal. Autón. México. Publ.* 16:1-30.
- Hall, F.G. 1936.** Physical and chemical survey of cenotes of Yucatan. *Carnegie Institution of Washington. Publ.* 457.5-16.
- Hobbs, H.H. III & H.H. Hobbs Jr. 1976.** On the troglobitic shrimps of the Yucatan Peninsula, México. *Smithson. Contr. Zool.*, 240:1-23
- Hobbs, H.H. Jr., H.H. Hobbs III & M.A. Daniel. 1977.** A review of the troglobitic decapod crustaceans of the Americas. *Smithson. Contr. Zool.*, 244:1-183
- Hobbs, H.H. III. 1979.** Additional notes on cave shrimps (crustacea: Atyidae and Palaemonidae) from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Proc. Biol. Soc. Wash;* 92: 618-633
- Hobbs, C.OL. 1938.** Fishes from the caves of Yucatan. *Carnegie Inst. Washington Publ.* 491:261-295
- Holsinger, J.R. 1990.** *Tuluweckelia cernua*, a new genus and species of stygobiont amphipod crustacean (Handziidae) from anchialine caves on the Yucatan Peninsula of Mexico. *Beaufortia* 41:97-107
- Holsinger, J.R. 1977.** A new genus and two new species of subterranean amphipod crustaceans (Gammaridae s. lat.) from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Ass. Mex Cave Stud. Bull.*, 6:15-25
- Holthuis, L.B. 1973.** Caridean shrimps found in land-locked saltwater pools at four Indo-West Pacific localities (Sinai Peninsula, Funafuti Atoll, Maui and Hawaii Islands), with description of one new genus and four new species. *Zoologische Verhandlungen.* 128:1-48.
- Lliffe, T.M. 1992.** An annotated list of the troglobitic anchialine and freshwater fauna of Quintana Roo. In: Navarro, D. y E. Suárez-Morales (eds.). *Diversidad biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Vol II.* Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO)/ Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). México.: 197-217.
- Instituto de Geografía, U.N.A.M., 1980.** *Q. Roo: organización espacial.* CIQRO. Puerto Morelos México
- Komicker, L.S. y T.M. Lliffe, 1989.** New Ostracoda (Halocyprida: Thaumatoocyprididae and Halocyprididae) from anchialine caves in the Bahamas, Palau and Mexico. *Smithson. Contr. Zool.*, 470: 1-47
- López-Omat, A., 1983.** Localización y medio físico. In: CIQRO (Ed.). *Sian Ka'an, estudios preliminares de una zona de Quintana Roo propuesta como reserva de la biosfera.* Puerto Morelos, Q. Roo, México, 193 p.

- López-Ramos, E. 1974.** Estudio geológico de la Península de Yucatán. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol.*, 25(1-3):25-76.
- López-Ramos, E. 1976.** *Carta geológica de la Península de Yucatán y Campeche*. Escala 1:500,000. Instituto de Geología, U.N.A.M., México.
- López-Ramos, E. 1983.** *Geología de México*. Tomo III. 3a. ed. Tesis Reséndiz, México.
- Madhupratap, M., C.T. Achuthankutty & S.R. Sreekumaran Nur. 1991.** Estimates of high absolute densities and emergence rates of demersal zooplankton from the Agatti Atoll, Laccadives. *Limnol. Oceanogr.*, 36(3):585-588.
- McKenzie, K.G. 1982.** Ostracoda. In: Hurlbert, S.H. & A. Viliálobos-Figueroa (eds). *Aquatic biota of Mexico, Central America and the West Indies*. San Diego State Univ., San Diego 187-191.
- Merino, M. y L. Otero. 1991.** *Atlas ambiental costero. Puerto Morelos, Quintana Roo*. CIQRO/ICMyL-UNAM. México. 80 pp.
- Navarro-Mendoza, M. et al. 1988.** *Inventario íctico de los cuerpos de agua continentales de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo*. Reporte Final Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO)-U.S. Fish & Wildlife Service (FWS).
- Navarro-Mendoza y C. Valdés-Casillas. 1990.** Peces cavernícolas de la Península de Yucatán en peligro de extinción, con nuevos registros para Quintana Roo. In: J. Camarillo y F. Rivera (eds.). *Áreas protegidas en México y especies en extinción*. ENEP-Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 219-241.
- Reid, J.W. 1990.** Continental and coastal free-living Copepoda (Crustacea) of Mexico, Central America and the Caribbean region. p.175-213, In: Navarro, D. & J.G. Robinson (eds.). *Diversidad Biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México*. CIQRO/PSTC, Univ. Florida. México.
- Rocha, C.E.F. & C.C. Hakenkamp. 1993.** New species of Halicyclops (copepoda, Cyclopidae) from the united states of America. *Hydrobiologia* 259: 145-156
- Stringfield, V.T. and H.E. LeGrand. 1974.** Karst hydrology of northern Yucatan Peninsula. In: Weidie, A. E. (ed.). *Field seminar on water and carbonate rocks of the Yucatan Peninsula, Mexico*. New Orleans Geological Society. 26-44
- Suárez-Morales E. 1991.** Nuevo registro de *Diaptomus dorsalis* Marsh (Copepoda: Calanoida) en México y su distribución en la zona epicontinental central del Caribe Mexicano. *Car. J. Sci.*, 27 (3-4):250-253.
- Suárez-Morales, E. y M. Elias-Gutiérrez. 1992.** Cladóceros (crustacea:Branchiopoda) de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo y zonas adyacentes. In: D. Navarro y E. Suárez-Morales. *Diversidad biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, México* CIQRO/SEDUE: 145-161
- Suárez-Morales E., y J.W. Reid. 1994.** Adiciones a la fauna plánctica de aguas continentales de Quintana Roo. *AvaCient. ITCh.* 9:29-33.
- Suárez-Morales, E., J.W. Reid, T.M. Liffé y F. Fiers, 1996.** *Catálogo de los copépodos (Crustácea) continentales de la Península de Yucatán, México*. CONABIO/ECOSUR, México. 296 p.
- Weidie, A.E., W.C. Ward & R.H. Marshali. 1978.** Geology of Yucatan platform. In: Ward, W.C. & A.E. Weidie (eds.). *Geology and Hydrogeology of Northeastern Yucatan*. New Orleans Geological Society. New Orleans. 3-30.
- Wilkins, H., 1982.** Regressive evolution and phylogenetic age: the history of colonization of freshwaters of Yucatan by fish and crustacea. *Assoc. Mex. Cave Stud. Bull.*, 8:237-243.
- Williams, J., J. Johnson, D. Hendrickson, S. Contreras-Balderas, J. Williams, M. Navarro-Mendoza, D. Mc Ailister & J. Deacon. 1989.** Fishes of North America endangered, threatened, or of special concern. *Fisheries*. 14(5):2-20.
- Wilson, E.M. 1980.** Physical geography of the Yucatan Peninsula. In: Moseley, E. & E. Terry (eds.). *Yucatan. A world apart*. The University of Alabama Press. USA.:5-40.
- Wilson, C.B. 1936.** Copepods from the cenotes and caves of the Yucatan Peninsula. with notes on cladocerans. In: Pearse, A.S., E.p. Creaser & F.G. Hall (eds). *The cenotes of Yucatan*. *Carnegie Inst. Washington Publ.* 457:77-78.
- Yager, J., 1987.** *Speleonectes tulumensis* n sp. (Crustacea, Remipedia) from two anchialine cenotes of the Yucatan Peninsula. *Stygologia*, 3:160-166.
- Yeatman, H.K.C. 1977.** Mesocyclops ellipticus from a Mexican cave. In: Reddell, J.R. (ed). *Studies on the caves and cave fauna of the Yucatan Peninsula*. Assoc. Mex. Cave Studies. 6 Speleo Press. Austin: 5-8.