



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
*Campus IZTACALA*

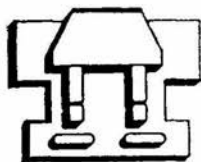
VARIACION TEMPORAL DE LAS COMUNIDADES  
BACTERIANAS Y FITOPLANCTONICAS EN CINCO  
SISTEMAS CARSTICOS DEL NE DE  
QUINTANA ROO, MEXICO.

BO 1412/98

g. 3

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**B I O L O G O**  
P R E S E N T A :  
**MALINALI SANCHEZ REYES**

DIRECTOR DE TESIS: DR. JAVIER ALCOGER DURAND.



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MEXICO.

1998.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

A mi padre, *Juvenal Sánchez Arceo* (+), porque donde quiera que se encuentre, comparte este pequeño paso que he dado en mi carrera profesional. ¡Gracias, por el tiempo que compartiste conmigo y por tu amor!

A mi madre, *Agustina Reyes Mejorada*, por el enorme esfuerzo que ha hecho toda su vida para salir adelante, por el sentido de responsabilidad que siempre ha inculcado en mí y por su comprensión. ¡Gracias, por tu amor y por tu apoyo!

A mi hermana, *Citlali Sánchez Reyes*, a pesar de las diferencias tan grandes que existen entre nosotras ¡Gracias por existir!

A mi sobrina, *Sri Itzel Ruiz Sánchez*, por la gran alegría que nos ha dado a todos y porque su presencia ha hecho agradables los momentos difíciles.

A toda mi familia que de una u otra manera me ha apoyado para la realización de mis metas, en especial mi tía Alicia y mi tía Emma.

De manera especial, quiero dedicar este trabajo para *Rafael R. Malpica González* por el tiempo que hemos compartido juntos y por su amor. Gracias, por enseñarme a descubrir el inmenso amor que te tengo.

## AGRADECIMIENTOS

A todos mis compañeros de grupo del PAEA. Gracias por el tiempo compartido y la gran cantidad de experiencias acumuladas.

A todos mis profesores de la ENEP Iztacala que contribuyeron a mi formación profesional, en especial al M. en C. Angel Durán Díaz.

Al Dr. Javier Alcocer Durand por la formación profesional que me ha brindado y por la invaluable dirección de este trabajo de tesis.

A la Biól. Ma. Guadalupe Oliva Martínez, por sus comentarios y valiosa ayuda en la identificación taxonómica de las especies de fitoplancton.

Al M. en C. Alfonso Lugo Vázquez, por su valiosa asesoría en el trabajo de laboratorio y de campo y sus comentarios a la versión final de este trabajo de tesis.

A la Dra. Ma. del Rosario Sánchez Rodríguez, por su ayuda en el trabajo de laboratorio, en especial en el conteo de bacterias, y por sus comentarios a este trabajo.

Al M. en C. Salvador Rodríguez Zaragoza, por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo y por las acertadas sugerencias realizadas al mismo.

A todos los miembros del Laboratorio de Limnología del Proyecto Cyma de la ENEP Iztacala, por su compañía y por hacer agradables los momentos de trabajo. Especial agradecimiento merecen Laura Peralta Soriano por su ayuda en el trabajo de laboratorio y de campo, y Alejandro Rodríguez Ramírez por su valiosa ayuda en la identificación taxonómica de las especies de diatomeas.

A la Dra. Margarita Caballero del Instituto de Geofísica y a la Dra. Rosa Luz Tavera de la Facultad de Ciencias, por su ayuda en la identificación taxonómica de las especies de diatomeas y cianofitas, además de la bibliografía proporcionada para concluir el trabajo de identificación.

Al Dr. Jorge Sepúlveda del laboratorio de microscopía electrónica del Instituto de Fisiología Celular, por el tiempo y experiencia dedicados a la toma de fotografías de las especies de diatomeas.

A la Dra. Elva Escobar Briones por su invaluable apoyo en el trabajo de campo y en la obtención de muestras de agua de las cuevas.

A Mike Madden y a todos los miembros del equipo de buceo en cuevas del Proyecto Nohoch '95, por el apoyo recibido para la realización de los muestreos.

El presente trabajo tuvo como apoyo financiero el proyecto "Ecología y biodiversidad de una cueva anquihalina basada en la producción quimioautotrófica" (DGAPA IN-203894).

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| Índice de figuras .....                     | II |
| Índice de tablas .....                      | IV |
| Resumen .....                               | 1  |
| Introducción .....                          | 2  |
| Objetivo .....                              | 4  |
| Área de estudio .....                       | 5  |
| Antecedentes .....                          | 5  |
| Metodología .....                           | 8  |
| Resultados y discusión .....                | 11 |
| Bacterioplancton .....                      | 11 |
| Densidad general .....                      | 11 |
| Cenotes .....                               | 11 |
| Cuevas .....                                | 12 |
| Composición bacteriana por morfotipos ..... | 15 |
| Fitoplancton .....                          | 17 |
| Composición florística .....                | 17 |
| Cenotes .....                               | 17 |
| Cuevas .....                                | 19 |
| Riqueza específica general .....            | 24 |
| Cenotes .....                               | 24 |
| Cuevas .....                                | 25 |
| Abundancia general .....                    | 26 |
| Cenotes .....                               | 27 |
| Cuevas .....                                | 30 |
| Densidad general .....                      | 32 |
| Cenotes .....                               | 32 |
| Cuevas .....                                | 33 |
| Diversidad ecológica .....                  | 36 |
| Conclusiones .....                          | 39 |
| Literatura citada .....                     | 41 |
| Anexo I .....                               | 49 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo.....  | 6  |
| Fig. 2. Variación temporal de las densidades bacterianas en los cenotes del NE de Quintana Roo.....   | 11 |
| Fig. 3. Variación temporal de las densidades bacterianas en las cuevas del NE de Quintana Roo.....  | 12 |
| Fig. 4. Variación vertical de las densidades bacterianas en las cuevas del NE de Quintana Roo.....  | 13 |
| Fig. 5. Contribución porcentual del fitoplancton (divisiones) de los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.....                             | 17 |
| Fig. 6. Dendrograma de similaridad biológica -composición taxonómica- (Índice de Jaccard) de los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo..... | 22 |
| Fig. 7. Variación temporal de la riqueza específica del fitoplancton en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.....                      | 25 |
| Fig. 8. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.....                            | 26 |
| Fig. 9. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Casa.....   | 27 |
| Fig. 10. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Nohoch.....  | 28 |
| Fig. 11. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Mayan Blue.....  | 28 |
| Fig. 12. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Cristal.....   | 29 |
| Fig. 13. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Carwash.....   | 30 |
| Fig. 14. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en la cueva del Mayan Blue.....   | 30 |
| Fig. 15. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en la cueva del Cristal.....  | 31 |
| Fig. 16. Variación temporal de la densidad del fitoplancton registrada en los cenotes del NE de Quintana Roo.....                             | 32 |

|  |    |
|--|----|
| Fig. 17. Densidad del fitoplancton registrada en las cuevas del NE de Quintana Roo (época de secas).....   | 33 |
| Fig. 18. Densidad del fitoplancton registrada en las cuevas del NE de Quintana Roo (época de lluvias).....                                       | 34 |
| Fig. 19. Variación vertical de las densidades del fitoplancton en las cuevas del NE de Quintana Roo.....   | 34 |
| Fig. 20. Dendrograma de disimilaridad biológica -densidades fitoplanctónicas- (1-r Pearson) de los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo ..... | 35 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Sitios de muestreo en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.....   | 8  |
| Tabla 2. Composición bacteriana porcentual por morfotipos en los cenotes del NE de Quintana Roo.....  | 15 |
| Tabla 3. Composición bacteriana porcentual por morfotipos en las cuevas del NE de Quintana Roo.....   | 16 |
| Tabla 4. Listado taxonómico de las especies de fitoplancton encontradas en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.....   | 18 |
| Tabla 5. Composición porcentual de las divisiones del fitoplancton en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.....  | 19 |
| Tabla 6. Especies de fitoplancton registradas en los cenotes del NE de Quintana Roo.....  | 20 |
| Tabla 7. Especies de fitoplancton registradas en las cuevas del NE de Quintana Roo.....   | 21 |
| Tabla 8. Riqueza específica total (S), diversidad específica (H'), diversidad máxima (Hmáx) y equitatividad (E) de las especies de fitoplancton en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo..... | 37 |



## RESUMEN

El presente trabajo describe las comunidades bacterio y fitoplanctónicas en cinco cenotes y dos cuevas inundadas del NE de Quintana Roo, México. Fueron considerados los cenotes Casa, Nohoch, Mayan Blue, Cristal y Carwash, así como dos cuevas de los cenotes Mayan Blue y Cristal. Se realizaron dos muestreos, uno al final de la época de secas (marzo-abril de 1995) y el otro al final de la época de lluvias (septiembre-octubre de 1995), con el fin de comparar las épocas climáticas contrastantes de la región. Las densidades bacterianas registradas ( $5.8 \times 10^2$  -  $1.1 \times 10^4$  cél/mL) fueron bajas y correspondientes a ambientes acuáticos de condiciones ultraoligotróficas a oligotróficas. No se detectó ningún patrón temporal en las densidades bacterianas presentándose valores bajos y similares en las dos épocas de muestreo. En las cuevas las densidades bacterianas fueron superiores a las de los cenotes, lo cual se relaciona, posiblemente, con eventos azarosos causados por el arrastre desde zonas circundantes (p.e., cenotes, suelo de la selva). Se presentó un gradiente vertical en las densidades bacterianas de las cuevas. En el nivel de la epiclina fueron más elevadas, en comparación con la haloclina e hipoclina. En el caso del fitoplancton, se identificaron 79 especies, siendo las diatomeas el grupo más importante en cuanto a riqueza específica (74.6%), sin embargo, numéricamente dominaron las cianofitas y clorofitas unicelulares como *Aphanocapsa koordersi* (14.1%), *Chroococcus dispersus* (9.7%), *Ch. minimus* (5.6%) y *Chlorella vulgaris* (5.1%). Los valores de densidad fitoplanctónica fueron bajos (4,000 - 676,000 cél/L) y concuerdan con los registrados para otros ambientes oligotróficos. El cenote con mayor diversidad específica fue Casa, debido, posiblemente, a la influencia de las especies marinas que llegan a presentarse en este cenote debido a su cercanía a la costa.

## INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas representan el 97% del total de las aguas continentales. Son ecosistemas que han sido poco estudiados a pesar de ser ampliamente explotados como fuente de abastecimiento de agua potable, para riego agrícola y aplicaciones industriales (Marmonier *et al.* 1993).

El agua subterránea proviene de la infiltración del agua de los glaciares, ríos o lluvia a través de las rocas de la litósfera. Este fenómeno ocurre gracias a que las rocas presentan una elevada porosidad, a través de la cual circula el agua. Sin embargo hay rocas que son muy compactas y el agua puede penetrar en ellas sólo a través de fisuras que la roca sufre con posterioridad a su compactación. Este es el caso de las aguas cársticas que son fundamentalmente aguas de fisura, pero que circulan por rocas solubles como las calizas. La disolución de la roca carbonatada se lleva a cabo debido a que el agua ha adquirido bióxido de carbono antes de penetrar por las fisuras convirtiéndose en ácido carbónico que solubiliza la roca (Llopis 1970). Los lagos cársticos o de disolución pertenecen al tipo 43 de acuerdo a la clasificación del origen de los lagos propuesta por Hutchinson (1957).

El origen del nombre *carst* proviene del sitio donde se estudiaron originalmente los principios de la circulación cárstica, esto es, de la región del Karst situada en Istria, al norte del Adriático (Llopis 1970). Sin embargo, las manifestaciones cársticas se encuentran en variadas regiones del mundo, por ejemplo, en la Península Balcánica, en la Península de Florida (Hutchinson 1957, Wetzel 1981) y en la Península de Yucatán (Maderey 1967, Margalef 1983).

La circulación del agua a través de las rocas calizas produce una serie de fenómenos de erosión y de disolución subterránea cuyo resultado es la generación de cavernas y diversas estructuras o formas superficiales como las dolinas y las uvalas. Las dolinas son depresiones cársticas originadas por la disolución en la intersección de dos o más diaclasas que determinan el hundimiento lento de toda la zona afectada a partir de su centro, adoptando finalmente una forma circular y embudiforme. Las dolinas reciben diferentes nombres locales (Llopis 1970) como, por ejemplo, "cenotes" en la Península de Yucatán. Cenote proviene del maya *tzonot*, término que denota una cueva o cámara más o menos abierta al exterior, que tiene agua en forma permanente (Hall 1936, Redell 1981, Illiffe 1993). Las uvalas se forman cuando se fusionan dolinas adyacentes para formar una depresión (Hutchinson 1957, Llopis 1970).

Debido a las características de elevada permeabilidad de las calizas en la Península de Yucatán, prácticamente no se presentan ríos (Hall 1936), sin embargo, existen abundantes cenotes, aguadas (depresiones del terreno que acumulan agua solamente en épocas de lluvias) y cuevas. La orientación de muchos pasajes en las cavernas origina un extenso sistema de grutas sumergidas interconectadas debido a su fracturación y fallamiento paralelo entre sí y perpendicular a la costa (Illiffe 1993).

En estos sistemas se desarrolla una biota muy particular, en especial en los pasajes sumergidos de las cuevas. Entre el sistema abierto bien iluminado (cenote) y el de caverna en

oscuridad total se establece una zona de transición o penumbra en la cual existe interacción entre ambas. Posiblemente la más importante de estas interacciones sea la exportación de materia orgánica de origen fotosintético (terrestre y acuático) desde las zonas bien iluminadas hacia el interior de las cuevas en oscuridad total.

Los sistemas cársticos han sido estudiados en diversas partes del mundo (Gibert 1988) por hidrogeólogos e ingenieros hidráulicos, básicamente (Marmonier *et al.* 1993). Aunque escasos, los estudios biológicos de estos sistemas cársticos se han orientado más bien hacia la taxonomía y las interpretaciones biogeográficas y evolutivas que hacia temas ecológicos como su estructura y funcionamiento (Margalef 1983). En años recientes, la aplicación de técnicas de espeleobuceo a estudios biológicos ha permitido reconocer una fauna rica en especies que habita en las cuevas costeras de la Península de Yucatán, sobre todo en lo referente a crustáceos y peces (Iliffe 1993). A pesar de lo anterior, existen escasos estudios acerca de la composición y abundancia de las comunidades planctónicas en estos sistemas (López-Adrián y Herrera-Silveira 1994).

Hay que considerar que en estos ecosistemas el aporte de nutrimentos por parte de ecosistemas adyacentes llega a ser importante y, en general, el flujo llega a ser mayor o más concentrado en las cavernas. Los cenotes, al estar en contacto con el aire, pueden presentar mejores condiciones de oxigenación que en las cavernas; además, las plantas terrestres que circundan a los cenotes aportan nutrimentos. Sin embargo, la productividad se mantiene baja a causa de la naturaleza caliza del terreno que provoca una rápida precipitación del fosfato (Margalef 1983). Es posible también que se presenten procesos quimioautotróficos alternativos en las cuevas de la Península de Yucatán como se ha demostrado en Movable Cave, una cueva anquihalina de la costa rumana del Mar Negro (Sarbu y Popa 1992). Para otros ambientes similares, por ejemplo las cuevas de Florida, se han reportado grandes carpetas de bacterias del azufre quimioautotróficas (*Thiothrix*) creciendo en la columna de agua y en las paredes de la cueva (Brigmon *et al.* 1994, Martin *et al.* 1995).

En los sistemas cársticos litorales, la influencia de las mareas es importante porque favorecen el establecimiento de ambientes anquihalinos, los cuales propician las condiciones adecuadas para la quimioautotrofia. El término *anquihalino*, originalmente propuesto por Holthius (1973) y modificado por Stock *et al.* (1986), se define como "estanques sin conexión superficial con el mar, que contienen aguas saladas o salobres, que fluctúan con las mareas". Estos sistemas están total o parcialmente sumergidos y contienen una capa de agua marina en el fondo y una salobre superficial separadas por una haloclina marcada (Stock *et al.* 1986). Hay que aclarar que la salinidad de la capa superficial disminuye conforme se incrementa la distancia a la costa, pudiendo llegar a ser prácticamente dulce (Iliffe 1993). Las mareas impulsan la capa de agua marina tierra adentro lo que puede llegar a afectar las características fisicoquímicas de la capa de agua superficial -utilizada frecuentemente como fuente de abastecimiento de agua potable- por intrusiones de la primera en la segunda (Doehring y Butler 1974).

Las comunidades bacterianas y fitoplanctónicas que se desarrollan en los sistemas cársticos han sido pobremente estudiadas, a pesar de la importancia que presentan. La

investigación de estos grupos aporta información fundamental acerca de la biogeoquímica del agua subterránea y la ecología microbiana que a su vez explica la ecología de la macrofauna cavernícola y de los ciclos de nutrientes (Martin *et al.* 1995).

Es por todo lo anteriormente expuesto, que el objetivo del presente estudio fue caracterizar cinco sistemas cársticos del estado de Quintana Roo, algunos de ellos con condiciones anquihalinas, mediante el estudio de las comunidades bacterianas planctónicas y del fitoplancton. Con fines comparativos se eligieron los cenotes Casa, Nohoch, Mayan Blue, Cristal y Carwash representando un gradiente de distancia creciente con respecto a la línea de costa, lo cual permitió evaluar la influencia que tienen las mareas sobre la dinámica de los sistemas. Estos cenotes pertenecen al sistema Nohoch Nah Chich (primero y segundo) con 48,270 m explorados (M. Madden com. pers.), Naranja (tercero y cuarto) con 15,480 m de pasajes explorados, y Carwash (quinto) con 2,590 m. Los dos primeros se cuentan entre los sistemas cársticos más extensos del mundo (Illiffe 1993).

Para cumplir con este objetivo, se plantearon las siguientes metas:

- Determinar la densidad de las comunidades bacterianas planctónicas, así como su fluctuación temporal.
- Establecer la composición y densidad de las comunidades fitoplanctónicas, así como su fluctuación temporal.

## ÁREA DE ESTUDIO

La región de estudio comprende la parte noreste del estado de Quintana Roo y está ubicada entre los 20°11' y 20°17' de latitud norte y los 87°23' y 87°29' de longitud oeste. La ubicación de los cenotes seleccionados es la siguiente: Casa (20°15.97'N, 87°23.41'W), Nohoch Main Entrance (20°17.93'N, 87°24.20'W), Mayan Blue (20°11.61'N, 87°29.74'W), Cristal (20°12.5'N, 87°28.98'W) y Carwash (20°16.48'N, 87°29.20'W) (Fig. 1). El área está conformada por sedimentos marinos del Mioceno y del Plioceno constituídos, básicamente, por calizas (Back y Hanshaw 1970), con un relieve que no sobrepasa los 200 metros de altitud sobre el nivel del mar (Maderey 1967).

El clima de la Península de Yucatán es tropical correspondiente al tipo Aw de la clasificación de Köppen, descrito como cálido subhúmedo con lluvias en verano. En el área donde se localizan los sistemas, el clima es Aw<sub>2</sub> que corresponde al más húmedo dentro del tipo Aw (García 1988). La temperatura se mantiene constante a lo largo del año, fluctuando de 23°C en enero hasta alcanzar un máximo de 28°C en mayo. La estacionalidad en la Península de Yucatán está definida no por la temperatura -cuya fluctuación es reducida- sino por la precipitación pluvial. Con base en ello, se reconoce una época de lluvias que abarca desde mayo hasta septiembre con una precipitación entre 500 y 1500 mm, con un promedio anual de 1000 mm (Back y Hanshaw 1970), y una época de secas que abarca de octubre hasta abril, donde prácticamente no hay aporte pluvial. La infiltración casi iguala a la evaporación, mientras que el escurrimiento superficial es nulo (Maderey 1967).

Debido a las características del terreno (caliza pura), el agua disuelve la roca madre sin dejar residuos, lo cual impide la formación de suelos; ésto influye en el desarrollo de la vegetación, conformada por bosque tropical sólo en aquellas partes donde la roca es más antigua y consistente y ha permitido el desarrollo del suelo. En la región de estudio, la vegetación corresponde a selva alta subperennifolia con *Achras* (zapote) (Maderey 1967, García 1988).

## ANTECEDENTES

Se han realizado diversos estudios hidrogeológicos en la Península de Yucatán entre los que destacan los de Back y Hanshaw (1970), Hanshaw y Back (1980), Back *et al.* (1986), Perry *et al.* (1989) y Marín y Perry (1994). Diversos autores entre los que destacan Hall (1936) y Gaona-Vizcayno *et al.* (1980) proponen los mecanismos de formación de los cenotes.

Uno de los primeros estudios biológicos realizados en la zona fue llevado a cabo por Hall (1936) en 35 cenotes interiores del estado de Yucatán, en donde hace la descripción de su fauna y analiza algunos parámetros físicos y químicos. Pearse (1936, 1938) realizó estudios acerca de la fauna cavernícola en cenotes y cuevas en el estado de Yucatán, en donde cerca de 300 especies animales -terrestres y acuáticas- fueron identificadas, muchas de las cuales fueron especies nuevas. Redell (1977) realizó expediciones a cuevas, cenotes y otros hábitats

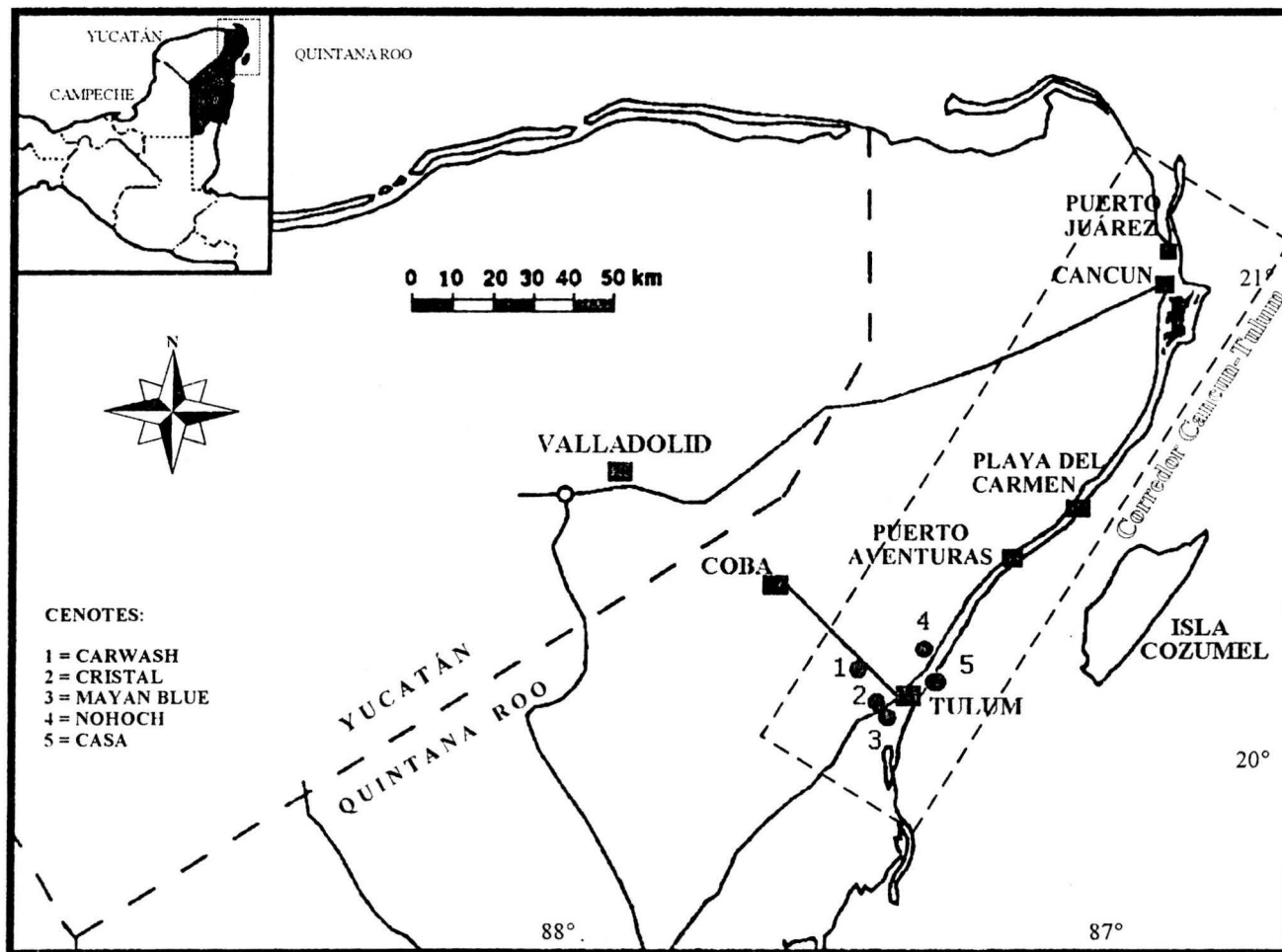


Fig. 1. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo. (Modificado de Iliffe 1992).

subterráneos a través de la Península de Yucatán y, en 1981, llevó a cabo una revisión de la fauna cavernícola de México, haciendo énfasis en la de la Península de Yucatán. Como resultado de estas expediciones, el número total de especies registradas en cuevas de la Península de Yucatán se incrementó a 565, de las cuales 115 sólo son encontradas en cenotes. Iliffe (1993) describe la fauna troglobia acuática de la Península de Yucatán y menciona que, al menos 22 especies, entre crustáceos y peces, son endémicos de la zona. Otros trabajos sobre crustáceos y peces en particular son los de Creaser (1936 y 1938), Furtos (1936), Hobbs y Hobbs (1976), Hobbs (1979), y Hubbs (1936 y 1938).

Los estudios acerca de las comunidades planctónicas son escasos. Sin embargo, los espeleobuzos han evidenciado la presencia de colonias bacterianas en forma de masas filamentosas en la columna de agua, o bien, masas gelatinosas adheridas al piso de las cuevas. Asimismo se han registrado bacterias en cuevas de Florida, formando colonias visibles de bacterias del azufre del género *Thiothrix* (Morris 1994, Wilson y Morris 1994). Estudios de bacterias en sistemas cársticos han sido realizados por Edler y Dodds (1992, 1996) en la Konza Prairie Research Area, en Kansas. Fuks *et al.* (1994) midieron las densidades bacterianas y la productividad en el río del estuario cárstico KrKa, en el Mediterráneo.

En lo referente a fitoplancton, López-Adrián y Herrera-Silveira (1994) analizaron la composición fito y zooplanctónica de un cenote en el estado de Yucatán. Ortega *et al.* (1994) hicieron una revisión de los trabajos relacionados con fitoplancton realizados en cenotes, aguadas y cavernas de la zona. *Chara zeylanica* var. *zeylanica* f. *zeylanica* (Charophyceae, Chlorophyta) es registrada para un cenote en Izamal, Yucatán. En lo que respecta a aguadas, *Nostoc verrucosum* y *Oscillatoria princeps* (Cyanophyceae, Cyanophyta) son registradas para la aguada Chulubmay en Izamal, Yucatán y *Chara sejuncta* (Charophyceae, Chlorophyta) en la aguada Dzadz en Tinum, Yucatán. En lo referente a cuevas y cavernas, *Aphanothece stagnina* (Cyanophyceae, Cyanophyta) se encontró en la cueva de Sambulá en Motul, Yucatán. Herrera-Silveira *et al.* (1997) hacen la caracterización limnológica de 71 cuerpos de agua de la Península de Yucatán con base en sus características físico-químicas. En este trabajo se menciona someramente la composición de las comunidades planctónicas. Sánchez (1985) describe algunas especies representativas de bacilariofitas encontradas en los cenotes de la Península de Yucatán. Sánchez *et al.* (1994) describen la composición fitoplanctónica en el cenote Dzitya, en Yucatán.

## METODOLOGÍA

Se realizaron dos muestreos, uno al final de la época de secas (marzo-abril de 1995) y otro al final de la época de lluvias (septiembre-octubre de 1995) para poder comparar las dos épocas climáticas contrastantes de la región. Fue muestreada la columna de agua de los cinco cenotes así como dos cuevas del extenso sistema cárstico asociado a los cenotes.

El número de muestras para los análisis biológicos en la columna de agua fue variable dependiendo de la heterogeneidad ambiental, la cual fue determinada a través de perfiles verticales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (Tabla 1). En aquellos sitios donde se

| CENOTE/CUEVA     | SECAS               | LLUVIAS    |
|------------------|---------------------|------------|
| CASA             | SUPERFICIE          | SUPERFICIE |
|                  | MEDIA AGUA<br>FONDO | FONDO      |
| NOHOCH           | MEDIA AGUA          | MEDIA AGUA |
|                  |                     | SUPERFICIE |
| MAYAN BLUE       | MEDIA AGUA          | FONDO      |
|                  |                     |            |
| CRISTAL          | MEDIA AGUA          | MEDIA AGUA |
| CARWASH          | MEDIA AGUA          | MEDIA AGUA |
| CUEVA MAYAN BLUE | EPICLINA            | EPICLINA   |
|                  | HALOCLINA           | HALOCLINA  |
|                  | HIPOCLINA           | HIPOCLINA  |
| CUEVA CRISTAL    | EPICLINA            | EPICLINA   |
|                  | HALOCLINA           | HALOCLINA  |
|                  | HIPOCLINA           | HIPOCLINA  |

Tabla 1. Sitios de muestreo en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.

presentó una estratificación (termo, halo u oxiclina) se consideraron dos o tres sitios de muestreo: en superficie y fondo, o bien, por arriba, por debajo y en la clina. En caso de no presentarse una estratificación, la profundidad de muestreo se realizó a media agua. Se utilizó una botella muestreadora de agua Niskin con capacidad de 6.0 L. En las cuevas, las muestras fueron tomadas *in situ* (espeleobuceo) con frascos de plástico con capacidad de 500 ml.



## **Bacterioplancton**

Las muestras tomadas para los conteos de bacterias fueron fijadas con formol hasta una concentración del 2%. La técnica utilizada para el conteo fue la de DAPI, la cual contempla el filtrado de un volúmen variable (20-30 ml) de la muestra a través de un filtro Millipore de 0.22  $\mu\text{m}$  de apertura de poro previamente teñido con una solución concentrada de negro clorazol marca sigma. A los últimos 2 ml del filtrado se le agregó el fluorocromo DAPI (4,6 diamidino-2-fenil indol) con el fin de teñir el material genético de las bacterias de color azul brillante. El filtro, una vez seco se montó en aceite de inmersión y se realizaron los conteos mediante microscopía de epifluorescencia (G365 FT395 LP420) a un aumento de 1250x. El volúmen a filtrar fue definido de acuerdo a la concentración de bacterias que se presentó en cada muestra. Con el fin de obtener significancia estadística, el número de bacterias que fueron contadas ascendió a 1000. Esta técnica ha demostrado ser una de las más confiables por permitir el reconocimiento rápido de las bacterias (Porter y Feig 1980). El conteo se realizó diferenciando la morfología de las mismas (morfortipos).

Para definir la presencia de diferencias significativas entre las densidades bacterianas de cenotes y cuevas, así como entre épocas, se aplicó la prueba estadística no paramétrica de comparación por rangos de U-Mann Whitney (Statgraphics 5.0 1991).

## **Fitoplancton**

Las muestras para fitoplancton (500 ml) fueron fijadas con acetato de lugol al 1% y se conservaron en oscuridad hasta su análisis en el laboratorio (Vollenweider 1974). La técnica de conteo consistió en la concentración de la muestra en cámaras de sedimentación de Utermöhl, para ser cuantificadas con posterioridad en un microscopio invertido. Fueron seleccionadas las cámaras de sedimentación de mayor capacidad (100 ml) debido a que el número de organismos presentes en las muestras fue bajo. El método de sedimentación de Utermöhl fue elegido debido a que es una técnica no selectiva y no destructiva (APHA *et al.* 1985).

Se realizaron revisiones a 160x en la cual se cuantificaron los organismos más grandes y posteriormente, una segunda a 400x para cuantificar los más pequeños. La identificación taxonómica de las especies se llevó a cabo siguiendo las claves de Hustedt (1930a, 1930b, 1959), Hustedt y Jensen (1985), Patrick y Reimer (1966, 1975), Bourrely (1966, 1968, 1970), Krammer y Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Geitler (1932) y Komárek y Fott (1983). Adicionalmente, se realizaron observaciones en microscopio de contraste de fases para los organismos más pequeños. Para poder hacer las identificaciones específicas de la flora diatomológica, se limpiaron los frústulos siguiendo la técnica de Hasle y Fryxell (1970) y en aquellas especies de diatomeas con mayor dificultad para la identificación, se empleó un microscopio electrónico de barrido marca JOEL, modelo JSM 5410 LV, del laboratorio de microscopía electrónica del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM.

En forma adicional a las muestras cuantitativas, se llevaron a cabo arrastres con red para fitoplancton (25  $\mu\text{m}$  de apertura de poro) -análisis cualitativo- para incrementar la posibilidad de capturar los organismos raros o cuya densidad sea baja y además, fueron colocados sustratos artificiales (en este caso portaobjetos), con el mismo fin.

Con la información obtenida del fitoplancton, se realizó una matriz con base en los resultados de riqueza específica de cenotes y cuevas (presencias-ausencias), considerando las dos épocas de muestreo (secas y lluvias). Fue realizado un análisis de conglomerados con base en el Índice de Jaccard, el cual mide el grado de afinidad que existe entre dos o más conjuntos de datos. De esta manera, los cenotes y las cuevas fueron agrupados de acuerdo al número de especies comunes. Para tal fin, se utilizó el paquete estadístico ANACOM (Versión 3.0 1991). En el caso de los valores de densidad fitoplanctónica, se transformaron logarítmicamente  $[\log(n+1)]$  para realizar un análisis de cúmulos con un esquema de amalgamiento mediante el método de unión simple y 1-r Pearson como coeficiente de asociación. Se consideraron las densidades de los cenotes y las cuevas en las dos épocas de muestreo. Esta clasificación se realizó con el paquete estadístico CSS:STATISTICA (Versión 3.0 1991). Adicionalmente, se calculó la diversidad, mediante el índice de diversidad de Shannon-Wiener (logaritmo base 2), además de otros parámetros como la equitatividad y la diversidad máxima. Fue utilizado el paquete estadístico BIODIVERSITY (Versión 1.0 1995).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Bacterioplancton

#### Densidad general

La densidad promedio global en los cenotes y cuevas de Quintana Roo fluctuó entre  $5.8 \times 10^2$  y  $1.1 \times 10^4$  cél/mL. La densidad global fue superior en época de secas y tuvo una variación entre  $5.8 \times 10^2$  y  $1.1 \times 10^4$  cél/mL, mientras que en lluvias se presentaron entre  $9.2 \times 10^2$  y  $8 \times 10^3$  cél/mL.

#### Densidad por cenote

La densidad bacteriana registrada en los cenotes de Quintana Roo fluctuó entre  $5.8 \times 10^2$  y  $4.3 \times 10^3$  cél/mL. El cenote que presentó la mayor densidad promedio fue Mayan Blue que tuvo  $3.7 \times 10^3$  cél/mL y el valor más bajo fue en Casa con  $1.1 \times 10^3$  cél/mL.

En época de secas, se presentó una densidad que fluctuó entre  $5.8 \times 10^2$  y  $4.3 \times 10^3$  cél/mL. El cenote que presentó la mayor densidad fue Mayan Blue con  $4.3 \times 10^3$  cél/mL. Densidades intermedias se registraron en Nohoch ( $3.1 \times 10^3$  cél/mL) y Cristal ( $2.9 \times 10^3$  cél/mL). Casa ( $1.4 \times 10^3$  cél/mL) presentó las menores densidades bacterianas. En un perfil vertical de Casa, el fondo fue el que presentó la mayor densidad de organismos ( $2.3 \times 10^3$  cél/mL) y la menor densidad fue en superficie ( $5.8 \times 10^2$  cél/mL). En el nivel intermedio se presentaron  $1.2 \times 10^3$  cél/mL. Carwash ( $1.4 \times 10^3$  cél/mL) también presentó una densidad baja, al igual que en Casa (Fig. 2).

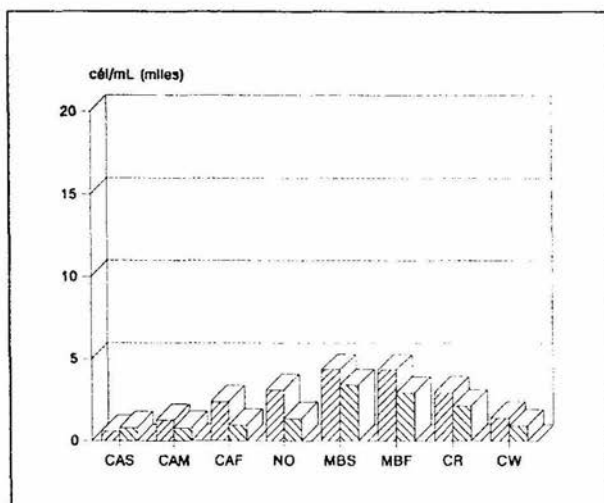


Fig. 2. Variación temporal de las densidades bacterianas en los cenotes del NE de Quintana Roo (CAS:Casa superficie, CAM:Casa media agua, CAF:Casa fondo, NO:Nohoch, MBS:Mayan Blue superficie, MBF:Mayan Blue fondo, CR:Cristal, CW:Carwash; ///:secas, \\:lluvias).

En época de lluvias la densidad presentó una variación entre  $7.8 \times 10^2$  y  $3.4 \times 10^3$  cél/mL. Al igual que en época de secas, la densidad más elevada se presentó en Mayan Blue ( $3.1 \times 10^3$  cél/mL). Al analizar este cenote en un perfil vertical se encontró una mayor densidad de bacterias en superficie ( $3.4 \times 10^3$  cél/mL) y una menor densidad en el fondo ( $2.9 \times 10^3$  cél/mL). Cristal ( $2.1 \times 10^3$  cél/mL) y Nohoch ( $1.3 \times 10^3$  cél/mL) tuvieron densidades intermedias y los valores más bajos se presentaron en Carwash ( $9.2 \times 10^2$  cél/mL) y Casa ( $8.6 \times 10^2$  cél/mL). En el perfil vertical de Casa se registró una mayor densidad de bacterias en el fondo ( $9.4 \times 10^2$  cél/mL) y una menor densidad en superficie ( $7.8 \times 10^2$  cél/mL) (Fig. 2).

Al comparar las densidades bacterianas de ambos muestreos, no se encontraron diferencias significativas ( $p=0.44$ ), prueba no paramétrica de comparación por rangos de U-Mann Whitney, Statgraphics 5.0 1991).

### Densidad en cuevas

En las cuevas, la densidad promedio global tuvo una variación entre  $1.4 \times 10^3$  y  $1.1 \times 10^5$  cél/mL. La cueva con mayor densidad global fue la del Mayan Blue con  $2.4 \times 10^4$  cél/mL, mientras que la cueva del Cristal registró  $4.4 \times 10^3$  cél/mL.

En época de secas, la densidad global fluctuó entre  $1.4 \times 10^3$  y  $1.1 \times 10^5$  cél/mL. La mayor densidad se registró en la cueva del Mayan Blue ( $4.1 \times 10^4$  cél/mL). Al analizar el perfil vertical en esta cueva, la mayor densidad bacteriana estuvo presente en la epiclina con  $1.1 \times 10^5$  cél/mL y la menor densidad en la haloclina con  $1.4 \times 10^3$  cél/mL. En la hipoclina se presentaron  $7.2 \times 10^3$  cél/mL. En la cueva del Cristal se registró una densidad de  $3.5 \times 10^3$  cél/mL. En la epiclina fue donde se presentó la mayor densidad bacteriana ( $4.7 \times 10^3$  cél/mL) y la menor densidad se registró en la haloclina ( $2.7 \times 10^3$  cél/mL). En la hipoclina se presentaron  $3 \times 10^3$  cél/mL (Fig. 3).

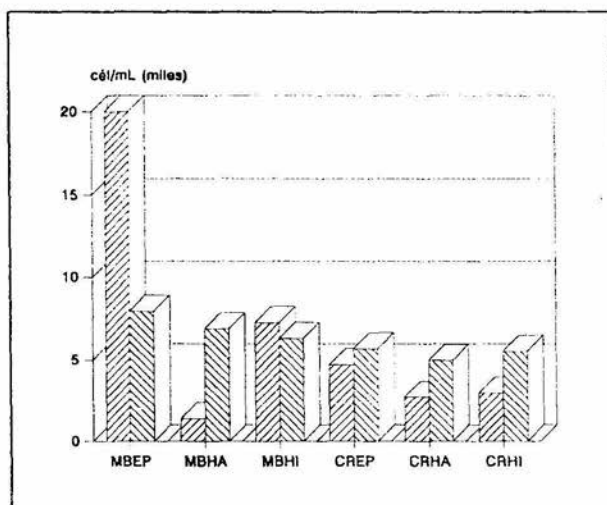


Fig. 3. Variación temporal de las densidades bacterianas en las cuevas del NE de Quintana Roo (MBEP:Mayan Blue epiclina, MBHA:Mayan Blue haloclina, MBHI:Mayan Blue hipoclina, CREP:Cristal epiclina, CRHA:Cristal haloclina, CRHI:Cristal hipoclina; ///:secas, \\\:lluvias).

En época de lluvias, la densidad global presentó una variación entre  $5 \times 10^3$  y  $8 \times 10^3$  cél/mL. Al igual que en época

de secas, la mayor densidad se registró en la cueva del Mayan Blue ( $7 \times 10^3$  cél/mL), aunque no con valores tan elevados como en la época de secas. En la epiclina se presentó una densidad de  $8 \times 10^3$  cél/mL, mientras que en la haloclina ( $6.9 \times 10^3$  cél/mL) y la hipoclina ( $6.3 \times 10^3$  cél/mL) se registraron densidades inferiores. En la cueva del Cristal se presentó una densidad bacteriana de  $5.4 \times 10^3$  cél/mL y en los tres niveles se registraron densidades similares, siendo ligeramente superiores en la epiclina ( $5.7 \times 10^3$  cél/mL). En la haloclina se registró una densidad de  $5 \times 10^3$  cél/mL y en la hipoclina de  $5.5 \times 10^3$  cél/mL (Fig. 3). Las densidades bacterianas encontradas en las cuevas siempre fueron superiores en el nivel de la epiclina (Fig. 4) debido, posiblemente, al cambio de densidad al pasar de la epiclina a la haloclina, estableciendo una barrera física para los organismos.

Al comparar las densidades bacterianas de las cuevas en ambas épocas, no se encontraron diferencias significativas ( $p=0.30$ ). a pesar de que, aparentemente, las densidades bacterianas fueron superiores en la época de secas.

Se compararon también las densidades bacterianas globales de cenotes y cuevas, siendo significativamente superiores en las cuevas ( $p=0.0004$ ).

Las densidades bacterianas encontradas tanto en los cenotes como en las cuevas son consideradas bajas aún al compararlas con las registradas para lagos oligotróficos. De acuerdo a Simek *et al.* (1996), las densidades bacterianas típicas para la mayoría de los cuerpos de agua tanto dulceacuícolas como marinos, fluctúan entre 1 y  $5 \times 10^6$  cél/mL, por lo cual los valores encontrados en los sistemas estudiados son bajos, sugiriendo ambientes ultraoligotróficos. Densidades bajas, similares a las indicadas por Simek *et al.* (1996), han sido reportadas por diversos autores para otros lagos oligotróficos (Ochs *et al.* 1995).

Estudios realizados en sistemas de aguas subterráneas muestran que, en general, los valores de densidades bacterianas son bajos en la columna de agua, mientras que en los sedimentos llegan a ser más elevados, en el orden de  $10^6$ - $10^7$  células por gramo de sedimento seco (Chapelle 1993).

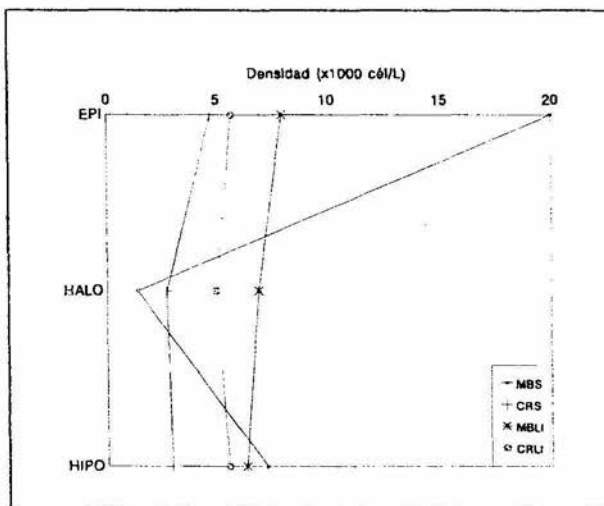


Fig. 4. Variación vertical de las densidades bacterianas en las cuevas del NE de Quintana Roo (MBS:Mayan Blue secas, CRS:Cristal secas, MBLI:Mayan Blue lluvias, CRLI:Cristal lluvias).

En un sistema cárstico ubicado en la Konza Prairie Research Natural Area, Kansas, también se encontraron valores bajos en la columna de agua, del orden de  $10^5$  cél/mL (Edler y Dodds 1992), los cuales resultan más elevados que los registrados en los cenotes y cuevas de Quintana Roo. En otros sistemas cársticos como en el estuario del río Krka, en la región cárstica de Croacia, se registraron valores aún más elevados, del orden de  $0.3-2.6 \times 10^6$  cél/mL (Fuks *et al.* 1994).

Sólo en la cueva del Mayan Blue en el nivel de epiclina en la época de secas se presentaron densidades del mismo orden de magnitud ( $1.1 \times 10^5$  cél/mL) a las del estudio de Edler y Dodds (1992). Es probable que la presencia de un gran número de bacterias en este punto sea un evento azaroso, debido a arrastres de alguna zona (p.e. sedimentos) cercana ya que, como indica Gounot (1994), las muestras de agua y de sedimentos de cuevas en ambientes cársticos no son muy elevadas, del orden de  $10^2-10^4$  cél/mL de agua o,  $10^4-10^8$  células por gramo de sedimento seco.

Los nutrientes son factores que limitan la producción bacteriana. Se ha observado que las bacterias son consumidoras de ortofosfatos y que un enriquecimiento en fósforo favorece el incremento en las densidades bacterianas (Vadstein *et al.* 1988). Aunque se asume que el carbono es un factor limitante para el crecimiento bacteriano, en otros acuíferos cársticos se han encontrado correlaciones entre bacterias y nitratos más que entre éstas y el carbono o el fósforo (Edler y Dodds 1996).

En el mismo sistema cárstico estudiado por Edler y Dodds (1992, 1996), se encontraron densidades bacterianas mayores asociadas al periodo de lluvias; estos autores asocian el incremento de bacterias con un aumento en la concentración de nitratos provenientes del agua de lluvia. Las concentraciones de nitratos medidas en los cenotes y cuevas de Quintana Roo se han registrado como bajas y sin un patrón temporal definido (Alcocer *et al.* 1998). Las densidades bacterianas registradas en los cenotes y cuevas de Quintana Roo no son significativamente superiores al comparar la época de secas y la de lluvias, por lo cual no es posible establecer una relación entre bacterias y concentración de nitratos, tal como ha sido indicado por otros autores.

Las concentraciones de ortofosfatos medidas en la Península de Yucatán son consideradas bajas. En el sistema Naranjal, al cual pertenecen los cenotes Mayan Blue y Cristal se han encontrado concentraciones de ortofosfatos de  $0.2 \mu\text{M}$  (Stoesell *et al.* 1993). Alcocer *et al.* (1998) registran concentraciones de ortofosfatos en los cenotes Casa, Nohoch, Mayan Blue, Cristal y Carwash del orden de no detectable (N.D.) -  $0.65 \mu\text{M}$  en ortofosfatos y de  $0.05-1.69 \mu\text{M}$  de fósforo total. Los niveles bajos de ortofosfatos y fósforo total son explicados por la naturaleza caliza del terreno, que los retiene fuertemente (Golterman 1984). En este sentido, la productividad de un cuerpo acuático puede verse afectada debido a la falta de fósforo, aún cuando otros nutrientes, por ejemplo los nitratos, sean elevados (Vadstein 1988, Herrera-Silveira 1994).

La comparación de las concentraciones de fósforo total encontradas en los cenotes por Alcocer *et al.* (1998) (0.05-1.7  $\mu\text{M}$ ) con aquéllas determinadas en lagos tropicales, los ubica en el intervalo correspondiente de sistemas ultraoligotróficos (<0.064 - 0.419  $\mu\text{M}$ ) a oligotróficos (0.064 - 3.2  $\mu\text{M}$ ) de acuerdo a Salas y Martino (1988). Esta clasificación es apoyada por las densidades bacterianas bajas, las cuales son características de cuerpos de agua poco productivos (Margalef 1983).

Otros factores que limitan o modifican las densidades bacterianas son la depredación por parte de protozoos heterótrofos -como encontró Weisse (1990)- o las concentraciones reducidas de oxígeno (microaerofilia o anoxia) -como mencionan Edler y Dodds (1996)-. En los cenotes y cuevas del presente estudio no se han encontrado condiciones microaerofílicas o anóxicas (Alcocer *et al.* 1998), por lo cual es muy probable que la depredación por diversos componentes del microzooplancton pueda estar estableciendo las diferencias entre las densidades bacterianas de las distintas zonas (p.e., cenotes y cuevas).

#### Composición bacteriana por morfotipos

Fueron reconocidos tres morfotipos bacterianos: bacilos, cocos y filamentos. En lo referente a los cenotes, en época de secas dominaron los bacilos y los filamentos mientras que en lluvias dominaron los bacilos y los cocos (Tabla 2).

| CENOTE   | EPOCA DE SECAS |       |            | EPOCA DE LLUVIAS |       |            |
|----------|----------------|-------|------------|------------------|-------|------------|
|          | Bacilos        | Cocos | Filamentos | Bacilos          | Cocos | Filamentos |
| CASA SUP | 86.7           | 13.3  | 0          | 64.1             | 35.9  | 0          |
| CASA MED | 80.7           | 19.3  | 0          | 64.8             | 35.2  | 0          |
| CASA FON | 87.6           | 12.4  | 0          | 81.8             | 18.2  | 0          |
| NOHOCH   | 31.9           | 7.5   | 60.6       | 27.7             | 66.8  | 5.5        |
| MB SUP   | 10.5           | 6.8   | 82.7       | 16.2             | 83.8  | 0          |
| MB FON   | 57.1           | 15.6  | 27.3       | 83.5             | 5.9   | 10.6       |
| CRISTAL  | 13.0           | 40.0  | 47.0       | 19.4             | 80.6  | 0          |

Tabla 2. Composición bacteriana porcentual por morfotipos en los cenotes del NE de Quintana Roo (SUP: superficie, MED: media agua, FON: fondo, MB: Mayan Blue).

En los sistemas de cuevas los bacilos fueron el morfotipo dominante en ambas épocas, mientras que los filamentos fueron escasos y los cocos estuvieron ausentes (Tabla 3).

Cabe hacer notar que en las cuevas anquihalinas estudiadas no se encontraron bacterias quimioautotróficas, que son fácilmente reconocibles a simple vista por desarrollar colonias macroscópicas; éstas han sido vistas por espeleobuzos en otras cuevas de la Península de Yucatán. Se caracterizan por formar tapetes blancos o grises sobre el piso de las cuevas, masas filamentosas en la columna de agua, o hilos o tiras gelatinosas en las paredes o pisos de las cuevas (Brigmon y Morris 1995). Es muy probable que la limitante para el desarrollo de estas bacterias sea la presencia de oxígeno disuelto en toda la columna, aún en la haloclina (Alcocer *et al.* 1998), ya que éstas se desarrollan en medios microaerofilicos o anaeróbicos. En el cenote Verde, en Quintana Roo, se han encontrado capas de agua con la presencia de diferentes bacterias del azufre de los géneros *Chromatium*, *Desulfovibrio* y *Beggiatoa*, lo que indica que el oxígeno en estas capas de agua fue deficiente (Wilson y Morris 1994).

| CUEVA           | EPOCA DE SECAS |            | EPOCA DE LLUVIAS |            |
|-----------------|----------------|------------|------------------|------------|
|                 | Bacilos        | Filamentos | Bacilos          | Filamentos |
| EPI             | 67.1           | 32.9       | 74.6             | 25.4       |
| CRISTAL HALO    | 75.8           | 24.2       | 71.7             | 28.3       |
| HIPO            | 34.9           | 65.1       | 72.5             | 27.5       |
| EPI             | 98.8           | 1.2        | 76.3             | 23.7       |
| MAYAN BLUE HALO | 80.4           | 19.6       | 70.8             | 29.2       |
| HIPO            | 51.1           | 48.9       | 61.9             | 38.1       |

Tabla 3. Composición bacteriana porcentual por morfotipos en las cuevas del NE de Quintana Roo (EPI: epiclina, HALO: haloclina, HIPO: hipoclina).

En resumen, las densidades bacterianas en los cenotes fueron bajas, similares entre sí y no presentan un patrón de variación temporal definido. En las cuevas se presentó una densidad bacteriana mayor, en comparación con los cenotes, lo cual se relaciona, posiblemente, con eventos azarosos que arrastran a los organismos hacia diferentes zonas (p. e. de los cenotes o de los sedimentos a las cuevas). Las densidades bacterianas registradas corresponden a ambientes acuáticos ultraoligotróficos y los nutrimentos encontrados en estos sistemas, corresponden también a ambientes acuáticos de ultraoligotróficos a oligotróficos.



## Fitoplancton

### Composición florística

Se identificaron un total de 79 especies (en este texto se aplica el término "especie" al nivel taxonómico más bajo identificado) pertenecientes a cuatro divisiones, cinco clases, nueve órdenes, 22 familias, y 42 géneros (Tabla 4). A nivel específico, las **cianofitas** (14%) estuvieron representadas por cinco chroococales (6.3%) y seis oscillatorias (7.6%). Las cianofitas fueron clasificadas de acuerdo a Komárek y Anagnostidis (1986) Sólo se presentó una **euglenofita** (1.3%). Las **clorofitas** (10.1%) estuvieron integradas por una del grupo de las ulotrichales (1.3%), cinco chlorococales (6.3%), una volvocal (1.3%) y una zigematal (1.3%) (Fig. 5). Tanto las clorofitas como las euglenofitas fueron clasificadas de

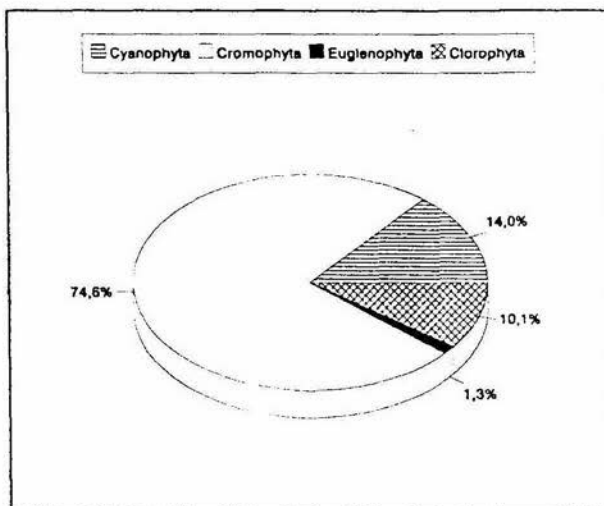


Fig. 5. Contribución porcentual del fitoplancton (divisiones) de los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.

acuerdo a Bourrely (1966, 1970). En lo que respecta a las **bacilariofitas** (Cromophyta) (74.6%) (Fig. 5) -el grupo más importante en cuanto a número de especies-, estuvieron integradas por tres del grupo de las centrales (3.8%) y 56 pennales (70.8%). En el caso del grupo de las centrales, una fue de la familia Thalassiosiraceae (1.3%), otra de la familia Melosiraceae (1.3%) y otra más de la familia Biddulphiaceae (1.3%). En el caso del grupo de las pennales, estuvieron integradas por siete especies de la familia Fragilariaceae (8.9%), dos de la familia Eunotiaceae (2.5%), ocho de Achnanthaceae (10.1%), 30 de Naviculaceae (38%), una de Epithemiaceae (1.3%) y ocho de Bacillariaceae (10.1%). La clasificación de este grupo -bacilariofitas- fue hecho con base en Krammer y Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a y 1991b).

### Composición florística por cenote

En los cinco cenotes se registró una composición florística similar, siendo en todos los casos, el grupo de las bacilariofitas las dominantes. Sólo en el caso de Nohoch se presentó un porcentaje mayor de especies correspondientes a la división Cyanophyta (Tabla 5 y 6). Casa registró 50 especies, Nohoch 41 especies, mientras que Mayan Blue registró un número mayor

| DIVISION     | CLASE          | ORDEN           | FAMILIA                            | GENERO, ESPECIE                     | No.   |                                    |                                 |    |
|--------------|----------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------------------|---------------------------------|----|
| CYANOPHYTA   | CYANOPHYCEAE   | CHROOCOCCALES   | CHROOCOCCACEAE                     | <i>Chroococcus dispersus</i> (c)    | 17  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 |                                    | <i>Chroococcus minimus</i> (c)      | 18  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 |                                    | <i>Alphanothous kraotus</i> (c)     | 12  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 |                                    | <i>Merismopedia elegans</i> (c)     | 42  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 |                                    | <i>Merismopedia minima</i> (c)      | 43  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 |                                    | <i>Limnotrix amphigranulata</i> (c) | 39  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | OSCILLATORIALES                    | PSEUDANABAENACEAE                   | <i>Rhodidium tenue</i> (c)                                | 68                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    | PHORMIDIACEAE                       | <i>Spirulina</i> sp. (c)                                  | 73                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    | OSCILLATORIACEAE                    | <i>Lyngbia</i> sp. (c)                                    | 40                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Oscillatoria agardhii</i> (c)                          | 62                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Oscillatoria limosa</i> (c)                            | 63                                 |                                 |    |
|              |                | CROMOPHYTA      | BACILLARIOPHYCEAE                  | CENTRALES                           | THALASSIOSIRACEAE   | <i>Cyclotella meneghiniana</i> (c) | 21                              |    |
|              |                |                 |                                    |                                     |   | MELOSIRACEAE                       | <i>Melosira nummuloides</i> (m) | 41 |
|              |                |                 |                                    |                                     |   | BIDDULPHIACEAE                     | <i>Terpsinoe musica</i> (c)     | 78 |
|              | FRAGILARIACEAE |                 |                                    |                                     | <i>Fragilaria fasciculata</i> (c)                         | 30                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Gramatophora</i> sp. (m)                               | 35                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Licmophora</i> sp. (m)                                 | 38                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Podocystis</i> sp. (m)                                 | 69                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Synedra acus</i> (c)                                   | 76                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Synedra aff. amphicephala</i> (c)                      | 77                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Synedra ulna</i> (c)                                   | 78                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | EUNOTIACEAE   | <i>Eunotia minor</i> (c)           | 28                              |    |
|              |                |                 |                                    |                                     |   | <i>Eunotia monodon</i> (c)         | 29                              |    |
|              |                |                 |                                    | ACHNANTHACEAE                       | <i>Achnanthes amoena</i> (m)                              | 1                                  |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i> (m)     | 2                                  |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Achnanthes delicatula</i> ssp. <i>hauckiana</i> (c)    | 3                                  |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Achnanthes minutissima</i> var. (c)                    | 4                                  |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissima</i> (c) | 5                                  |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Achnanthes temperlei</i> (m)                           | 6                                  |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Cocconeis pediculus</i> (c)                            | 19                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (c)       | 20                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    | NAVICULACEAE                        | <i>Amphora</i> sp. (c)                                    | 11                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Amphora angusta</i> (m)                                | 7                                  |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Amphora coffeiformis</i> (c)                           | 8                                  |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Amphora coffeiformis</i> var. <i>acutiuscula</i> (c)   | 9                                  |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Amphora lineolata</i> (c)                              | 10                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Cymbella gracilis</i> (c)                              | 22                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Cymbella microcephala</i> (c)                          | 23                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Cymbella minuta</i> (c)                                | 24                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Cymbella muelleri</i> (c)                              | 25                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Diploneis elliptica</i> (c)                            | 26                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Entomoneis (Amphiprorai) gigantea</i> (m)              | 27                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Gomphonema gracile</i> (c)                             | 32                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Gomphonema aff. insigne</i> (c)                        | 31                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Gomphonema intricatum</i> var. <i>vibrio</i> (c)       | 33                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Gomphonema parvulum</i> (c)                            | 34                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Gyrosigma obscurum</i> (c)                             | 36                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Gyrosigma scalproides</i> (c)                          | 37                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Navicula bicephala</i> (c)                             | 45                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Navicula cryptotenella</i> (c)                         | 46                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Navicula digito-radiata</i> (c)                        | 47                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Navicula halophila</i> (c)                             | 48                                 |                                 |    |
|              |                |                 |                                    |                                     | <i>Navicula minuscula</i> (c)                             | 49                                 |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Navicula phyllepta</i> (c)      | 50                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Navicula platyventris</i> (m)   | 51                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Navicula radiosa</i> (c)        | 52                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Navicula zeta</i> (m)           | 53                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Noidium</i> sp. (c)             | 54                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Pleurosigma elongatum</i> (c)   | 67                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Pleurosigma salinarum</i> (c)   | 68                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Stauroneis kriegeri</i> (c)     | 75                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Rhopalodia gibba</i> (c)        | 70                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Bacillaria paradoxa</i> (c)     | 13                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Nitzschia amphibia</i> (c)      | 55                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Nitzschia amphibiaoides</i> (c) | 56                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Nitzschia constricta</i> (m)    | 57                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Nitzschia frustulum</i> (c)     | 58                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Nitzschia linearis</i> (c)      | 59                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Nitzschia scalaris</i> (c)      | 60                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Nitzschia sigmoides</i> (c)     | 61                                  |   |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | <i>Phacus acuminatus</i> (c)       | 65                                  |   |                                    |                                 |    |
| EUULENOPHYTA | EUULENOPHYCEAE | EUULENALES      | EUULENACEAE                        | <i>Schroederia</i> sp. (c)          | 72  |                                    |                                 |    |
| CHLOROPHYTA  | CHLOROPHYCEAE  | CHLOROOCOCCALES | CHLOROOCOCCACEAE                   | <i>Pediastrum duplex</i> (c)        | 64  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | HYDRODYCTYACEAE                    | <i>Chlorella vulgaris</i> (c)       | 16  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | OOCYSTACEAE                        | <i>Monoraphidium minutum</i> (c)    | 44  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | SCENEDESMACEAE                     | <i>Scenedesmus quadricauda</i> (c)  | 71  |                                    |                                 |    |
|              |                |                 | CHLAMYDOMONADACEAE                 | <i>Chlamydomonas</i> sp. (c)        | 15  |                                    |                                 |    |
|              |                | ULOTRICHALES    | ULOTRICHACEAE                      | <i>Ulothrix</i> sp. (c)             | 80  |                                    |                                 |    |
|              |                | ZYGNEMATALES    | ZYGNEMATAACEAE                     | <i>Spyrogyra</i> sp. (c)            | 74  |                                    |                                 |    |
|              | ZYGOPHYCEAE    |                 |                                    |                                     |   |                                    |                                 |    |

Tabla 4. Listado taxonómico de las especies de fitoplancton encontradas en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo (c:especie continental, m:especie marina, los números se refieren al orden alfabético que le corresponde a cada especie).

(46). Los cenotes con un número menor de especies fue Cristal (33) y Carwash (32) (Tabla 6). La composición de especies entre la época de secas y la de lluvias se mantuvo constante (Anexo 1), siendo el grupo de las bacilariofitas el dominante en todos los casos. En el cenote Casa se registraron especies consideradas exclusivamente marinas (15.2%), las cuales están indicadas en la tabla 4. En el caso de Nohoch, hubo una disminución de especies en la época de lluvias, sin embargo, siempre fueron las bacilariofitas el grupo dominante (Anexo 1)

| DIVISIÓN     | CA | NO   | MB   | CR   | CW   | CMB  | CCR  |
|--------------|----|------|------|------|------|------|------|
| CYANOPHYTA   | 6  | 24.4 | 13   | 9.1  | 12.5 | 13.9 | 3.7  |
| CROMOPHYTA   | 86 | 68.3 | 76.1 | 81.8 | 81.2 | 83.3 | 88.9 |
| EUGLENOPHYTA | 0  | 2.4  | 2.2  | 0    | 0    | 0    | 0    |
| CLOROPHYTA   | 8  | 4.9  | 8.7  | 9.1  | 6.2  | 2.8  | 7.4  |

Tabla 5. Composición porcentual de las divisiones del fitoplancton en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo (CA:Casa, NO:Nohoch, MB:Mayan Blue, CR:Cristal, CW:Carwash, CMB:Cueva del Mayan Blue, CCR:Cueva del Cristal).

#### Composición florística en cuevas

Las cuevas presentaron un número menor de especies comparado con los cenotes. Todas las especies de las cuevas estuvieron presentes en los cenotes, a excepción de la clorofita *Spyrogira* sp., presente sólo en las cuevas. Las especies del género *Spyrogira* son habitantes de lagos y charcos (Ortega 1984) y su presencia en las cuevas de Quintana Roo fue muy escasa y sólo se le encontró en una muestra en una sola ocasión. Gounot (1994) indica que, algunas algas, sobre todo cianobacterias, pueden desarrollarse en cuevas levemente iluminadas, pero en el caso de cuevas o galerías oscuras, su presencia se debe a que posiblemente provienen de las aguas superficiales adyacentes. En las cuevas de Quintana Roo no sólo se encontraron cianofitas, sino también un número elevado de bacilariofitas que provienen de las zonas iluminadas (cenotes, infiltraciones de la selva).

La composición de especies en las dos cuevas fue similar, registrando 36 especies en la cueva del Mayan Blue y 27 en la del Cristal, y al igual que en los cenotes, el grupo de las bacilariofitas fue el dominante (Tabla 5 y 7). La composición específica entre la época de secas y la de lluvias fue similar en ambas cuevas (Anexo 1).

Se realizó un análisis de conglomerados (clasificación aglomerativa, unión simple, índice de Jaccard) con base en la matriz de presencias-ausencias por épocas (Tablas 5 y 6) . Los cenotes que más especies compartieron (especies comunes) fueron los sistemas dulceacuícolas (Nohoch, Mayan Blue, Cristal y Carwash) mientras que Casa fue el que presentó una mayor

| No Especie  | CASA   |         | NOHOCH   |           | M.BLUE   |           | CRISTAL   |            | CARWASH   |            |
|---|--------|---------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
|   | Casa/S | Casa/LI | Nohoch/S | Nohoch/LI | M.Blue/S | M.Blue/LI | Cristal/S | Cristal/LI | Carwash/S | Carwash/LI |
| 1 <i>Achnanthes amoena</i>                                | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 2 <i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i>       | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 3 <i>Achnanthes delicatula</i> ssp. <i>hauckiana</i>      | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 1         | 0         | 0          | 1         | 0          |
| 4 <i>Achnanthes minutissima</i> var.                      | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 0         | 1         | 0          | 1         | 0          |
| 5 <i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissima</i>   | 1      | 1       | 1        | 0         | 1        | 0         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 6 <i>Achnanthes temperei</i>                              | 1      | 1       | 1        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 7 <i>Amphora angusta</i>                                  | 1      | 1       | 1        | 1         | 0        | 0         | 1         | 1          | 0         | 0          |
| 8 <i>Amphora coffeiformis</i>                             | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 1         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 9 <i>Amphora coffeiformis</i> var. <i>acutiuscula</i>     | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 10 <i>Amphora lineolata</i>                               | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 1         | 1         | 1          | 0         | 0          |
| 11 <i>Amphora</i> sp.                                     | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 12 <i>Aphanocapsa koordersi</i>                           | 0      | 0       | 1        | 1         | 1        | 1         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 13 <i>Bacillaria paradoxa</i>                             | 0      | 1       | 1        | 1         | 1        | 1         | 0         | 1          | 0         | 0          |
| 14 <i>Chlamydomonas</i> sp.                               | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 0         | 1         | 0          | 0         | 0          |
| 15 <i>Chlorella vulgaris</i>                              | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 1         | 0         | 1          | 0         | 1          |
| 16 <i>Chroococcus dispersus</i>                           | 1      | 1       | 1        | 1         | 0        | 0         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 17 <i>Chroococcus minimus</i>                             | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 1         | 1          |
| 18 <i>Cocconeis pediculus</i>                             | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 19 <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>        | 1      | 1       | 1        | 1         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 20 <i>Cyclotella meneghiniana</i>                         | 1      | 1       | 1        | 1         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 21 <i>Cymbella gracilis</i>                               | 0      | 0       | 0        | 0         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 22 <i>Cymbella microcephala</i>                           | 0      | 0       | 1        | 1         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 23 <i>Cymbella minuta</i>                                 | 0      | 1       | 1        | 1         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 24 <i>Cymbella muelleri</i>                               | 1      | 1       | 1        | 0         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 0          |
| 25 <i>Diploneis elliptica</i>                             | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 26 <i>Ectomonas</i> ( <i>Amphiprora</i> ) <i>gigantea</i> | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 27 <i>Eunotia minor</i>                                   | 0      | 0       | 1        | 0         | 1        | 1         | 1         | 0          | 1         | 1          |
| 28 <i>Eunotia monodon</i>                                 | 0      | 0       | 1        | 0         | 0        | 0         | 1         | 0          | 0         | 0          |
| 29 <i>Fragilaria fasciculata</i>                          | 1      | 1       | 1        | 1         | 1        | 1         | 0         | 1          | 0         | 0          |
| 30 <i>Gomphonema</i> aff. <i>insigne</i>                  | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 1         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 31 <i>Gomphonema gracile</i>                              | 0      | 0       | 1        | 0         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 32 <i>Gomphonema intricatum</i> var. <i>vibrio</i>        | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 33 <i>Gomphonema parvulum</i>                             | 1      | 1       | 0        | 0         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 34 <i>Gramatophora</i> sp.                                | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 35 <i>Gyrosigma obscurum</i>                              | 0      | 0       | 0        | 0         | 1        | 1         | 0         | 1          | 1         | 1          |
| 36 <i>Gyrosigma scalproides</i>                           | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 37 <i>Licmophora</i> sp.                                  | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 38 <i>Limnoria amphigranulata</i>                         | 0      | 0       | 1        | 0         | 1        | 0         | 1         | 0          | 0         | 0          |
| 39 <i>Lyngbia</i> sp.                                     | 0      | 0       | 1        | 0         | 0        | 0         | 1         | 0          | 0         | 0          |
| 40 <i>Melosira humuloides</i>                             | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 41 <i>Merismopedia elegans</i>                            | 0      | 0       | 1        | 0         | 1        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 42 <i>Merismopedia minima</i>                             | 0      | 0       | 1        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 1          |
| 43 <i>Monoraphidium minutum</i>                           | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 0         | 1         | 1          | 0         | 1          |
| 44 <i>Navicula bicephala</i>                              | 0      | 0       | 1        | 0         | 1        | 1         | 0         | 0          | 0         | 1          |
| 45 <i>Navicula cryptotenella</i>                          | 1      | 1       | 1        | 1         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 46 <i>Navicula digito-radiata</i>                         | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 47 <i>Navicula halophila</i>                              | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 1         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 48 <i>Navicula minuscula</i>                              | 0      | 0       | 1        | 1         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 49 <i>Navicula phyllepta</i>                              | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 50 <i>Navicula platyventris</i>                           | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 51 <i>Navicula radiosa</i>                                | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 52 <i>Navicula zeta</i>                                   | 0      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 53 <i>Neidium</i> sp.                                     | 0      | 0       | 1        | 1         | 1        | 0         | 0         | 0          | 0         | 1          |
| 54 <i>Nitzschia amphibia</i>                              | 0      | 0       | 1        | 1         | 1        | 1         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 55 <i>Nitzschia amphibioides</i>                          | 1      | 0       | 1        | 1         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 56 <i>Nitzschia constricta</i>                            | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 57 <i>Nitzschia frustulum</i>                             | 0      | 0       | 1        | 0         | 1        | 1         | 0         | 0          | 1         | 1          |
| 58 <i>Nitzschia linearis</i>                              | 0      | 0       | 0        | 0         | 1        | 1         | 1         | 0          | 0         | 0          |
| 59 <i>Nitzschia scalaris</i>                              | 0      | 0       | 0        | 0         | 1        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 60 <i>Nitzschia sigmaidea</i>                             | 0      | 1       | 1        | 1         | 1        | 0         | 1         | 0          | 0         | 0          |
| 61 <i>Oscillatoria agardhii</i>                           | 0      | 0       | 1        | 0         | 1        | 1         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 62 <i>Oscillatoria limosa</i>                             | 1      | 1       | 1        | 1         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 63 <i>Pediastrum duplex</i>                               | 0      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 64 <i>Phacus acuminatus</i>                               | 0      | 0       | 1        | 0         | 0        | 1         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 65 <i>Phormidium tenue</i>                                | 0      | 0       | 1        | 1         | 1        | 1         | 0         | 1          | 1         | 1          |
| 66 <i>Pleurosigma elongatum</i>                           | 1      | 0       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 67 <i>Pleurosigma salinarum</i>                           | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 68 <i>Podocystis</i> sp.                                  | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 69 <i>Rhopalodia gibba</i>                                | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 70 <i>Scenedesmus quadricauda</i>                         | 0      | 1       | 1        | 0         | 1        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 71 <i>Schroederia</i> sp.                                 | 1      | 1       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 72 <i>Spirulina</i> sp.                                   | 1      | 0       | 1        | 0         | 1        | 1         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 73 <i>Spyrogrina</i> sp.                                  | 0      | 0       | 0        | 0         | 0        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 74 <i>Stauroneis kriegeri</i>                             | 0      | 0       | 1        | 1         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 75 <i>Synedra acus</i>                                    | 1      | 1       | 1        | 0         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 76 <i>Synedra</i> aff. <i>amphicephala</i>                | 1      | 1       | 1        | 0         | 1        | 0         | 0         | 0          | 0         | 0          |
| 77 <i>Synedra ulna</i>                                    | 0      | 0       | 1        | 0         | 1        | 0         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 78 <i>Terpsinoe musica</i>                                | 1      | 1       | 1        | 1         | 1        | 1         | 1         | 1          | 1         | 1          |
| 79 <i>Ulothrix</i> sp.                                    | 0      | 1       | 1        | 0         | 0        | 0         | 1         | 0          | 0         | 0          |
| TOTAL   | 42     | 43      | 40       | 19        | 35       | 37        | 29        | 24         | 26        | 27         |

Tabla 6. Especies de fitoplancton registradas en los cenotes del NE de Quintana Roo (S:secas, LI:lluvias, 1:presente, 0:ausente).

| No. Especie   | MAYAN BLUE |           | CRISTAL   |            |
|---|------------|-----------|-----------|------------|
|   | M.Blue/S   | M.Blue/LI | Cristal/S | Cristal/LI |
| 1 <i>Achnanthes amoena</i>                                  | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 2 <i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i>         | 0          | 1         | 1         | 1          |
| 3 <i>Achnanthes delicatula</i> ssp. <i>hauckiana</i>        | 1          | 0         | 0         | 0          |
| 4 <i>Achnanthes minutissima</i> var.                        | 1          | 0         | 1         | 0          |
| 5 <i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissima</i>     | 1          | 1         | 0         | 0          |
| 6 <i>Achnanthes temperei</i>                                | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 7 <i>Amphora angusta</i>                                    | 0          | 1         | 0         | 0          |
| 8 <i>Amphora coffeaformis</i>                               | 0          | 1         | 1         | 0          |
| 9 <i>Amphora coffeaformis</i> var. <i>acutiuscula</i>       | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 10 <i>Amphora lineolata</i>                                 | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 11 <i>Amphora</i> sp.                                       | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 12 <i>Aphanocapsa koordersi</i>                             | 1          | 1         | 0         | 0          |
| 13 <i>Bacillaria paradoxa</i>                               | 1          | 0         | 0         | 0          |
| 14 <i>Chlamydomonas</i> sp.                                 | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 15 <i>Chlorella vulgaris</i>                                | 0          | 1         | 0         | 0          |
| 16 <i>Chroococcus dispersus</i>                             | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 17 <i>Chroococcus minimus</i>                               | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 18 <i>Cocconeis pediculus</i>                               | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 19 <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>          | 1          | 1         | 1         | 1          |
| 20 <i>Cyclotella meneghiniana</i>                           | 1          | 1         | 1         | 0          |
| 21 <i>Cymbella gracilis</i>                                 | 1          | 0         | 1         | 1          |
| 22 <i>Cymbella microcephala</i>                             | 1          | 1         | 1         | 1          |
| 23 <i>Cymbella minuta</i>                                   | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 24 <i>Cymbella muelleri</i>                                 | 1          | 0         | 1         | 0          |
| 25 <i>Diploneis elliptica</i>                               | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 26 <i>Entomoneis</i> ( <i>Amphiprorai</i> ) <i>gigantea</i> | 0          | 0         | 1         | 1          |
| 27 <i>Eunotia minor</i>                                     | 0          | 0         | 1         | 1          |
| 28 <i>Eunotia monodon</i>                                   | 1          | 1         | 1         | 1          |
| 29 <i>Fragilaria fasciculata</i>                            | 1          | 0         | 1         | 0          |
| 30 <i>Gomphonema aff. insigne</i>                           | 1          | 0         | 1         | 1          |
| 31 <i>Gomphonema gracile</i>                                | 0          | 1         | 1         | 1          |
| 32 <i>Gomphonema intricatum</i> var. <i>vibrio</i>          | 1          | 0         | 1         | 0          |
| 33 <i>Gomphonema parvulum</i>                               | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 34 <i>Gramatophora</i> sp.                                  | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 35 <i>Gyrosigma obscurum</i>                                | 1          | 0         | 1         | 1          |
| 36 <i>Gyrosigma scalproides</i>                             | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 37 <i>Licmophora</i> sp.                                    | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 38 <i>Limnottix amphigranulata</i>                          | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 39 <i>Lyngbia</i> sp.                                       | 1          | 0         | 1         | 0          |
| 40 <i>Melosira nummuloides</i>                              | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 41 <i>Meismopediella elegans</i>                            | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 42 <i>Meismopediella minima</i>                             | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 43 <i>Monoraphidium minutum</i>                             | 0          | 0         | 1         | 1          |
| 44 <i>Navicula bicephala</i>                                | 1          | 0         | 0         | 0          |
| 45 <i>Navicula cryptotenella</i>                            | 1          | 1         | 1         | 1          |
| 46 <i>Navicula digito-radiata</i>                           | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 47 <i>Navicula halophila</i>                                | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 48 <i>Navicula minuscula</i>                                | 1          | 1         | 1         | 1          |
| 49 <i>Navicula phyllepta</i>                                | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 50 <i>Navicula platyventris</i>                             | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 51 <i>Navicula radiosa</i>                                  | 1          | 0         | 1         | 1          |
| 52 <i>Navicula zeta</i>                                     | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 53 <i>Neidium</i> sp.                                       | 1          | 0         | 0         | 1          |
| 54 <i>Nitzschia amphibia</i>                                | 1          | 0         | 0         | 0          |
| 55 <i>Nitzschia amphibioides</i>                            | 1          | 0         | 1         | 1          |
| 56 <i>Nitzschia constricta</i>                              | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 57 <i>Nitzschia frustulum</i>                               | 0          | 1         | 0         | 0          |
| 58 <i>Nitzschia linearis</i>                                | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 59 <i>Nitzschia scalaris</i>                                | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 60 <i>Nitzschia sigmoidea</i>                               | 1          | 0         | 0         | 0          |
| 61 <i>Oscillatoria agardhii</i>                             | 1          | 0         | 0         | 0          |
| 62 <i>Oscillatoria limosa</i>                               | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 63 <i>Pediastrum duplex</i>                                 | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 64 <i>Phacus acuminatus</i>                                 | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 65 <i>Phormidium tenue</i>                                  | 1          | 0         | 0         | 0          |
| 66 <i>Pleurosigma elongatum</i>                             | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 67 <i>Pleurosigma salinarum</i>                             | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 68 <i>Podocystis</i> sp.                                    | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 69 <i>Rhopalodia gibba</i>                                  | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 70 <i>Scenedesmus quadricauda</i>                           | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 71 <i>Schroederia</i> sp.                                   | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 72 <i>Spirulina</i> sp.                                     | 1          | 0         | 0         | 0          |
| 73 <i>Spyrogira</i> sp.                                     | 0          | 0         | 1         | 0          |
| 74 <i>Stauroneis kriegei</i>                                | 0          | 0         | 0         | 0          |
| 75 <i>Synedra acus</i>                                      | 1          | 0         | 1         | 1          |
| 76 <i>Synedra aff. amphicephala</i>                         | 1          | 0         | 1         | 0          |
| 77 <i>Synedra ulna</i>                                      | 1          | 0         | 1         | 1          |
| 78 <i>Tetrasira musica</i>                                  | 1          | 0         | 0         | 0          |
| 79 <i>Ulothrix</i> sp.                                      | 0          | 0         | 0         | 0          |
| TOTAL   | 31         | 13        | 26        | 19         |

Tabla 7. Especies de fitoplancton registradas en las cuevas del NE de Quintana Roo (S:secas, LI:lluvias, 1:presente, 0:ausente).

diferencia al encontrarse una composición de especies diferente a la registrada en los otros sistemas. Se registraron pocas variaciones en la composición específica entre la época de secas y la de lluvias (Fig. 6). Se formaron grupos a un nivel elevado de similitud en los cenotes Casa Secas-Casa Lluvias (0.700), Cristal Secas-Cristal Lluvias (0.588) y Carwash Secas-Carwash Lluvias (0.656). es decir la composición de especies en estos cenotes fue similar en ambas épocas. En el caso de Nohoch Secas, se parece más a Mayan Blue Secas a un nivel elevado de similitud (0.652). Nohoch Lluvias es diferente (0.267) al resto de los cenotes, esto es porque Nohoch en época de lluvias presentó diferencias en la composición de especies debido a que el número de éstas disminuyó drásticamente (40 en secas y 17 en lluvias). Finalmente, el grupo Casa Secas-Casa Lluvias se une al resto de los cenotes a un nivel bajo de similitud (0.113). En el caso de las cuevas, se mantuvo el mismo comportamiento (Fig. 6). Se formó un grupo de Cristal Cueva Secas-Cristal Cueva Lluvias a un nivel de similitud elevado (0.679). La cueva del Mayan Blue Secas se parece más al cenote Mayan Blue Secas (0.532) debido a que en esta época la cueva del Mayan Blue presentó una composición específica similar a la del cenote. Este comportamiento no se mantiene en época de lluvias, ya que presentó muy pocas especies, lo cual hace que se separe y forme un grupo a un nivel bajo de similitud (0.231) con Nohoch Lluvias.

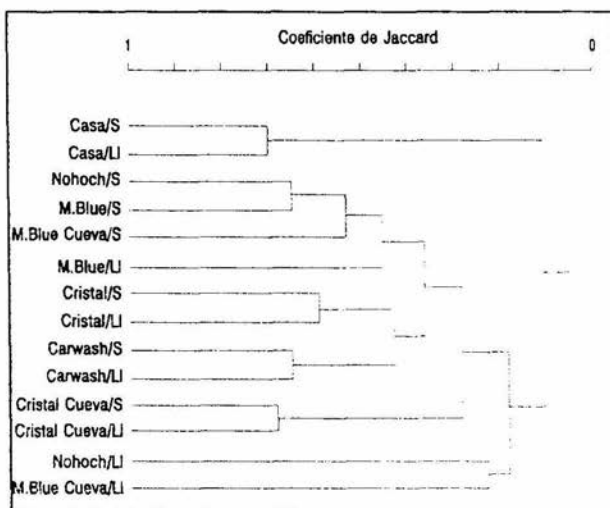


Fig. 6. Dendrograma de similaridad biológica -composición taxonómica- (Índice de Jaccard) de los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo (S:secas, LI:lluvias).

La composición de especies fue similar en los cenotes Nohoch, Mayan Blue, Cristal y Carwash. Esto debido posiblemente a las características uniformes de agua dulce que se han registrado para estos cenotes. Mayan Blue y Carwash registraron en época de lluvias una ligera diferencia en la concentración de sólidos totales disueltos en la columna de agua (Alcocer *et al.* 1998), sin embargo, la composición de especies no se vio afectada. El cenote Casa registró características de agua salobre a salada (Alcocer *et al.* 1998), esto debido a su cercanía al mar, lo cual influyó en la composición de especies. En este cenote se presentaron especies (todas correspondientes a diatomeas) características de ambientes marinos o bien, que habitan aguas interiores de salinidad elevada (Krammer y Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991a, 1991b). Este es el caso de especies como *Nitzschia constricta*, registrada para las costas de Puerto Rico como una especie marina (Navarro 1983). *Rhopalodia gibba* es una especie de ambientes salobres, al igual

que *Achnanthes brevipes* var. *intermedia* y *Entomoneis (Amphiprora) gigantea* (Giffen 1963). *Melosira nummuloides* y *Pleurosigma elongatum* han sido encontradas en las costas cubanas como especies características de ambientes marinos (López y Borrero 1977). *Achnanthes amoena* es una especie característica de aguas salobres y costas marinas y se le ha encontrado en Africa tropical (Krammer y Lange-Bertalot 1991b). *Achnanthes temperei* ha sido registrada en ríos costeros (Patrick y Reimer 1966). *Amphora coffeafformis* var. *acutiuscula* es también encontrada en las costas marinas o en agua salobre y estuarios (Krammer y Lange-Bertalot 1986). *Cocconeis pediculus* es una especie de aguas salobres, aunque se le considera cosmopolita presente también en agua dulce (Krammer y Lange-Bertalot 1991b, Patrick y Reimer 1966). *Gramatophora*, *Licmophora* y *Podocystis* son géneros típicamente marinos (Hustedt 1930a); algunas especies de estos géneros han sido registradas en las costas de Baja California (Moreno et al. 1996). *Gyrosigma scalproides* es una especie de aguas con corriente que tienen un contenido de electrolitos de medio a elevado (Krammer y Lange-Bertalot 1986) y se le ha encontrado en las costas de Sudáfrica (Giffen 1963). Todas las especies del género *Navicula* encontradas en Casa son de agua salada y de ambientes marinos (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Patrick y Reimer 1966). *Navicula platyventris* se ha encontrado en las costas de Honduras, Tanzania, Florida, Gambia y Baja California (Moreno et al. 1996). *Navicula zeta* es cosmopolita en mares africanos y americanos (Krammer y Lange-Bertalot 1986). *Pleurosigma salinarum* es una especie de aguas salobres aunque presente también en agua dulce, por ejemplo en ríos y en manantiales (Patrick y Reimer 1966), sin embargo en este estudio sólo se registró en Casa.

El resto de las especies comunes a todos los cenotes presentó pocas semejanzas con otros ambientes similares. López-Adrián y Herrera-Silveira (1994) encontraron en el cenote Xtogil, en Yucatán, algunas especies registradas en este estudio como *Scenedesmus quadricauda*, *Synedra ulna* y *Merismopedia minima*. López-Adrián et al. (1993) registraron 37 géneros en cuatro cenotes del estado de Yucatán, los cuatro de carácter oligotrófico. Algunos géneros comunes encontrados fueron *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Ulothrix*, *Phacus*, *Lynghia*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Navicula* y *Stauroneis*. En este estudio registraron la presencia de poblaciones de cianobacterias muy pequeñas (3-5µ). Algunas de las especies encontradas fueron *Achnanthes brevipes*, *A. temperei*, *Cocconeis placentula*, *Gomphonema gracile*, *Synedra acus*, *Terpsinoe musica*, *Eunotia monodon* y *Nitzschia scalaris*. Estas tres últimas especies, junto con *Cyclotella meneghiniana* y *Nitzschia amphibia*, han sido registradas como características de la flora diatomológica en los cenotes de tipo abierto de Yucatán (Sánchez 1985). Herrera-Silveira et al. (1997) encontraron especies que son registradas en el presente estudio, como son *Synedra acus*, *Nitzschia scalaris*, *Gomphonema gracilis* y *Terpsinoe musica* y afirman que las diatomeas pennaes son mucho más abundantes que las diatomeas centrales, hechos que concuerdan con lo encontrado en los cenotes y cuevas de Quintana Roo.

En el estudio de las costas de Sudáfrica (Giffen 1963) fueron registradas varias especies comunes a los cenotes del presente estudio, aparte de las típicamente marinas. Los sistemas del estudio de Giffen (1963) son estuarios típicos donde se presenta una serie de pequeños ríos a lo largo de la costa en los cuales hay un gradiente de salinidad. Las especies encontradas fueron *Amphora angusta*, *Cocconeis placentula*, *Nitzschia frustulum*, *Cymbella microcephala*, *Bacillaria paradoxa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Navicula radiosa*, *Synedra*

*ulna* y *Nitzschia amphibia*. En las costas cubanas se han encontrado especies como *Bacillaria paradoxa* y *Nitzschia scalaris* (López y Borrero 1977).

### Riqueza específica general

La riqueza específica total del fitoplancton de los cenotes y cuevas de Quintana Roo ascendió a 79 especies. En época de secas se presentaron 76 especies y en lluvias 71.

### Riqueza específica por cenote

La riqueza específica total en los cenotes fue de 78 especies. El único género que no se registró fue *Spyrogira* sp., la cual sólo estuvo presente en las cuevas. La variación temporal de la riqueza específica fue de 74 especies en época de secas y 71 para época de lluvias (Fig. 7). Como puede apreciarse, la variación temporal de la riqueza específica en los cenotes fue muy reducida, encontrándose casi el total de las especies en ambas épocas.

El cenote con mayor riqueza específica fue Casa con 50 especies (64.1%), seguido de Mayan Blue con 46 (59%), Nohoch con 41 (52.6%), Cristal con 33 (42.3%) y, finalmente, Carwash con 32 especies (41%) (Fig. 7).

En época de secas el cenote con mayor riqueza específica fue Casa con 42 especies. Casa es el cenote que se encuentra más cercano a la costa por lo que presenta una fuerte influencia marina, lo que hace que se formen dos capas separadas por una haloclina, siendo la del fondo prácticamente agua marina y la de la superficie agua salobre. Sin embargo, el número de especies fue similar en los tres estratos. El número mayor de especies se encontró en superficie (32) y el menor en el nivel intermedio (29). El fondo presentó 30 especies. Nohoch presentó también un elevado número de especies (40), al igual que Mayan Blue (35 especies). La menor riqueza específica fue en Cristal y Carwash con 29 y 26 especies, respectivamente.

En época de lluvias la riqueza específica mayor fue también en Casa al presentar 43 especies. Al igual que en época de secas, en un perfil vertical no se presentaron diferencias en el número de especies. La mayor riqueza fue en el fondo con 31 especies y la menor en superficie con 29. Mayan Blue registró 37 especies y, a diferencia de lo encontrado en época de secas, fue analizado el nivel superficial y el del fondo debido a la presencia de una capa ligeramente más dulce en superficie. En la zona superficial fue donde se encontró el mayor número de especies (31), mientras que en el fondo fueron sólo 16. En Cristal y Carwash se mantuvo una riqueza específica similar a la de secas con 24 y 27 especies, respectivamente. La menor riqueza específica fue en Nohoch, al presentar sólo 19 especies.

Se han registrado valores similares de riqueza específica en cenotes de características parecidas a los del presente estudio. En cuatro cenotes del estado de Yucatán se registraron 37 géneros (López-Adrián *et al.* 1993). En los cenotes de Quintana Roo se tuvo una cifra



ligeramente superior (42 géneros). Estos cuatro cenotes presentaron alta transparencia y oxigenación, además de un perifiton bien desarrollado (López-Adrián *et al.* 1993). Los sistemas del presente estudio se caracterizan también por presentar agua clara y oxigenada la mayor parte del tiempo, además de perifiton abundante (Alcocer *et al.* 1998). En el cenote Dzitya ó Chen-ha localizado en el estado de Yucatán se encontraron 30 especies (Sánchez *et al.* 1994), valor similar a lo registrado en los cenotes de menor riqueza de este estudio, como Cristal (34 especies) y Carwash (32). El cenote Dzitya es de tipo abierto y sujeto a eutroficación debido a una granja porcícola cercana (Sánchez *et al.* 1994). El cenote Xtogil, en Yucatán, registró un mayor número de especies. Se encontraron 88 especies, (López-Adrián y Herrera-Silveira 1994) cifra muy superior a la encontrada en los cenotes de este estudio (50 especies en el cenote con mayor riqueza específica). La frecuencia de muestreo en Xtogil fue mensual, y posiblemente por esa razón se encontró un número mayor de especies.

### Riqueza específica en cuevas

De manera global, el total de especies registradas en las cuevas ascendió a 40. El número mayor se registró en Mayan Blue con 36 especies (90%), mientras que en Cristal se presentaron 27 (67.5%). La fluctuación temporal de la riqueza específica fue de 38 especies para la época de secas y 25 para la época de lluvias (Fig. 7).

En la época de secas, la cueva del Mayan Blue presentó las diferencias más notables en la epiclina, donde se registraron 32 especies, -riqueza comparable a la encontrada en los cenotes-. En la haloclina e hipoclina se encontraron solamente 7 especies en cada nivel. En la cueva del cenote Cristal se presentó la riqueza específica mayor en la haloclina (20 especies), mientras que en la epiclina (15) y la hipoclina (15) se registraron menores.

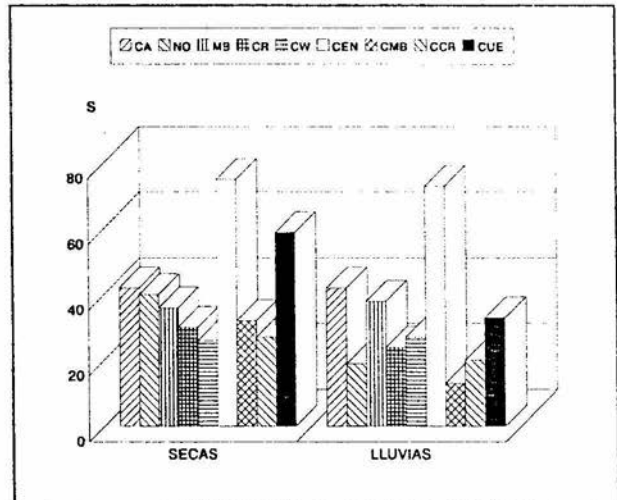


Fig. 7. Variación temporal de la riqueza específica del fitoplancton en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo (CA: Casa, NO: Nohoch, MB: Mayan Blue, CR: Cristal, CW: Carwash, CEN: total en cenotes, CMB: cueva del Mayan Blue, CCR: cueva del Cristal, CUE: total en cuevas).

En la época de lluvias, las dos cuevas registraron valores bajos y similares. La cueva del cenote Mayan Blue presentó muy pocas especies en los tres niveles (7 en la epiclina y 4 en cada

uno de los dos niveles restantes). La cueva del Cristal presentó la mayor riqueza específica en la haloclina (9 especies) y menores en la epiclina (6) e hipoclina (8).

### Abundancia general

Del total de especies registradas para los cenotes y cuevas (79 especies), la mitad aportó el 90 % de la abundancia total (Fig. 8). El grupo más importante fue el de las cianofitas. La especie con mayor abundancia global fue *Aphanocapsa koordersi* con una contribución del 14.1%, seguido de *Chroococcus dispersus* con el 9.7%, *Lyngbia* sp. (8.1%), *Oscillatoria limosa* (5.7%), *Chroococcus minimus* (5.6%) y *Phormidium tenue* (3.2%). Las clorofitas fueron el segundo grupo más importante con *Chlorella vulgaris* que tuvo una contribución a la abundancia global del 5.1%. Las bacilariofitas fueron el tercer grupo en importancia y las especies que más contribuyeron a la abundancia global fueron *Nitzschia amphibioides* (2.8%), *Navicula cryptotenella* (2.4%), *Cymbella microcephala* (2.1%), *Cocconeis placentula* var. *lineata* (2.1%) y *Cyclotella meneghiniana* (2%).

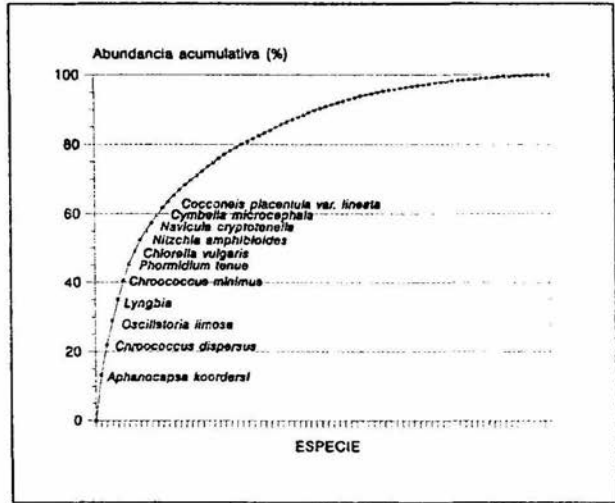


Fig. 8. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.

*Aphanocapsa koordersi*, *Chroococcus dispersus* y *Ch. minimus* han sido registrados como organismos cosmopolitas, planctónicos (Geitler 1932) y de condiciones oligotróficas (Sládeček 1978, 1981). *Chroococcus dispersus* es una especie que ha sido registrada en lagunas costeras de México (Oliva y Ortega 1983). En el caso de las cianofíceas filamentosas, *Oscillatoria limosa* es una especie de aguas salobres y de condiciones oligotróficas a mesotróficas (Geitler 1932). *Lyngbia* sp. y *Phormidium tenue* son organismos planctónicos y cosmopolitas, con un amplio intervalo de tolerancia a diversos parámetros ambientales, como la salinidad y el estado trófico del cuerpo de agua (Geitler 1932.). En el caso de *Phormidium tenue*, se le ha registrado también en lagunas costeras de México (Oliva y Ortega 1983). Otra especie con una contribución importante a la abundancia total fue la clorofita *Chlorella vulgaris*, especie cosmopolita y planctónica en lagos (Ortega 1984).

En el caso de las diatomeas registradas, todas ellas son indicadoras de condiciones oligotróficas y de hábitat bentónico (Krammer y Lange-Bertalot 1986), a excepción de *Cyclotella meneghiniana* que es una especie planctónica y presente tanto en agua dulce como en agua salobre. La presencia en la columna de agua de diatomeas bentónicas se debe a la acción de las corrientes que arrastran estos organismos hacia la columna de agua pocoprofunda. Este hecho ha sido señalado por Licea (1974) en la laguna costera de Agiabampo, Sonora/Sinaloa, y por Herrera-Silveira *et al.* (1997) en diversos cuerpos acuáticos de la península de Yucatán. Ambos autores encontraron una dominancia de diatomeas pennaes en comparación con las diatomeas centrales.

### Abundancia por cenote

Casa presentó 30 especies con una abundancia acumulada superior al 90% (Fig. 9). Las especies más importantes fueron las cianofitas *Oscillatoria limosa* con 13.9%, seguida de *Chroococcus dispersus* con el 9.5%. El segundo grupo importante fue el de las bacilariofitas y las especies que mayor contribución tuvieron fueron *Navicula halophila* (8.9%), *N. phyllepta* (6%), *N. platyventris* (3.8%), *Licmophora* sp. (3.4%), *Melosira nummuloides* (3.1%), *Achnanthes brevipes* var. *intermedia* (2.7%), *Entomoneis (Amphiprora) gigantea* (2.7%), *Fragilaria fasciculata* (2.7%) y *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (2.7%).

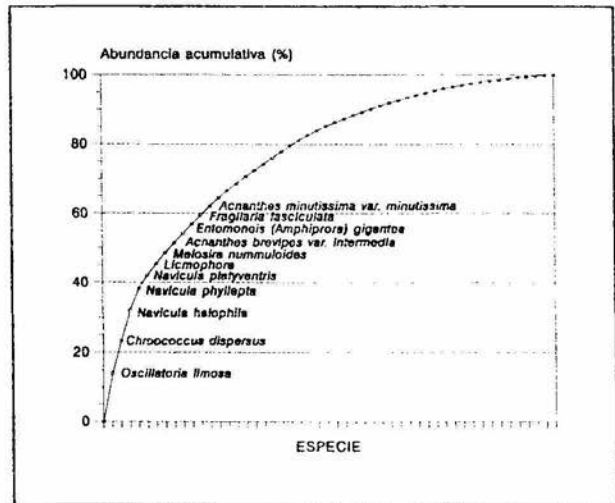


Fig. 9. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Casa.

Nohoch registró 15 especies con una abundancia acumulada superior al 90% (Fig. 10). Las especies con mayor abundancia fueron las cianofitas; *Oscillatoria limosa* presentó la mayor abundancia (33.5%), y le siguieron *Limnatrix amphigranulata* (10.9%), *Lyngbia* sp. (8.8%) y *Chroococcus dispersus* (6.8%). En el caso de las bacilariofitas, la especie más importante fue *Nitzschia sigmoidea* (7.1%) y *Cocconeis placentula* var. *lineata* (5.2%).

Mayan Blue (Fig. 11) presentó sólo 14 especies con una abundancia acumulada superior al 90%. Las cianofitas fueron el grupo de mayor importancia. Una sola especie, *Aphanocapsa koordersi*, tuvo una contribución del 72.7%. Le siguieron *Limnatrix amphigranulata*

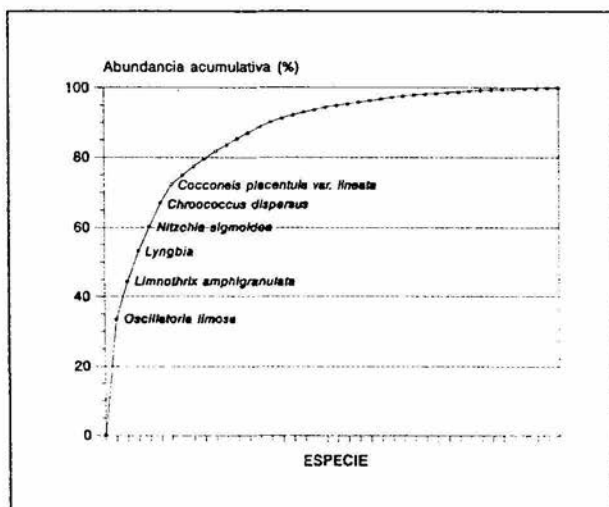


Fig. 10. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Nohoch.

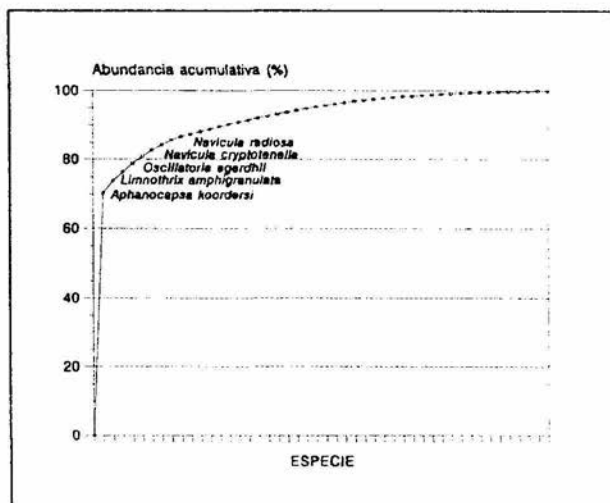


Fig. 11. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Mayan Blue.

(3.3%), *Phormidium tenue* (2.5%) y *Oscillatoria agardhii* (2%). El siguiente grupo en orden de importancia fue el de las bacilariofitas y las especies más importantes fueron *Navicula cryptotenella* (1.9%), *N. radiosa* (1.5%), *Amphora coffeiformis* (1.3%) y *Cymbella microcephala* (1%).

En Cristal, 17 especies tuvieron una abundancia acumulada superior al 90% (Fig. 12). En este caso, también son las cianofitas el grupo más importante. La especie con mayor aportación numérica fue *Chroococcus dispersus* con 51.1% y a continuación se registró *Lyngbia* sp. (7.7%). El siguiente

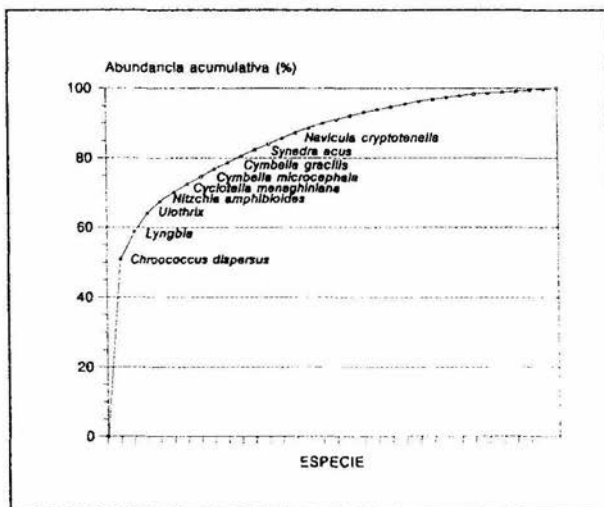


Fig. 12. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Cristal.

grupo importante fue el de las clorofitas con *Ulothrix* sp. que tuvo una abundancia del 5.3%. Después se presentaron las bacilariofitas de las cuales las especies con mayor contribución fueron *Nitzschia amphibioides* (3.4%), *Cyclotella meneghiniana* (2.6%), *Cymbella microcephala* (2.4%), *C. gracilis* (2.1%), *Synedra acus* (2.1%), *Navicula cryptotenella* (1.9%), *Synedra ulna* (1.9%) y *Terpsinoe musica* (1.9%).

Doce especies de Carwash (Fig. 13) contribuyeron con más del 90% de la abundancia total del fitoplancton. Las especies más importantes fueron las cianofitas *Chroococcus minimus* (38%), *Phormidium tenue* (16.2%) y *Chroococcus dispersus* (1.5%). El siguiente grupo en orden de importancia fue el de las clorofitas con *Chlorella vulgaris* (19.3%) y *Monoraphidium minutum* (5.9%) como más abundantes. El siguiente grupo fue el de las bacilariofitas con *Cymbella gracilis* (1.5%), *Navicula cryptotenella* (1.5%), *Cyclotella meneghiniana* (1.5%), *Nitzschia amphibioides* (1.4%), *Cymbella microcephala* (1.4%), *Synedra ulna* (1.2%) y, finalmente, *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* (1.1%). Cabe mencionar que Carwash fue el único cenote que presentó a *Chlorella vulgaris* con una contribución importante (19.30%), sólomente registrada en la época de lluvias. Su presencia coincide con el aumento de coliformes fecales registrado por Alcocer *et al.* (1998) para el mismo cenote.

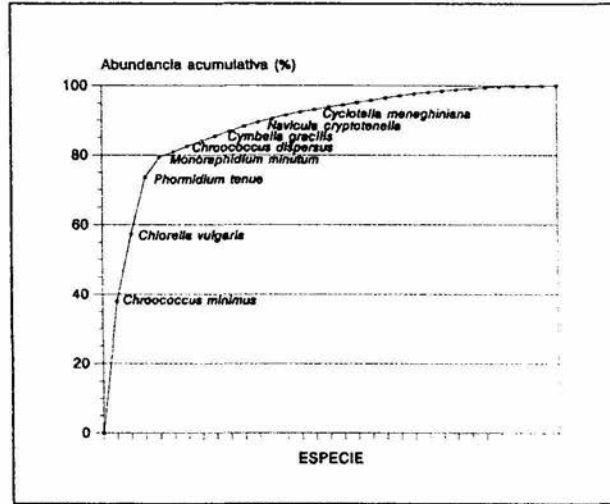


Fig. 13. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en Carwash.

### Abundancia en cuevas

En la cueva del Mayan Blue (Fig. 14) se registraron 18 especies con una abundancia acumulada superior al 90%. Al igual que en el cenote, *Aphanocapsa koordersi* fue la especie más importante (24.5%), seguida de *Lyngbia* sp. (18.5%) y *Phormidium tenue* (9.1%). Enseguida se presentó *Oscillatoria agardhii* con 3.3% de abundancia individual. El siguiente grupo en importancia fue el de las bacilariofitas con *Synedra ulna* (5.4%), *Navicula cryptotenella* (4.5%), *Nitzschia amphibia* (4.2%), *Nitzschia amphibioides* (3%), *Cymbella microcephala* (2.7%), *Synedra* aff. *amphicephala* (2.4%) y,

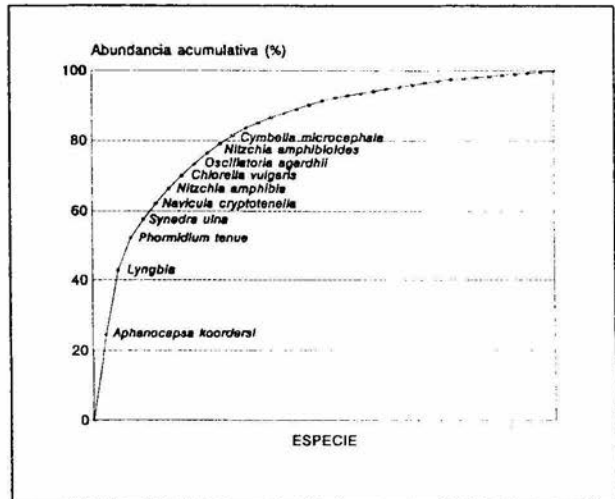


Fig. 14. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en la cueva del Mayan Blue.

finalmente, *Acnathes minutissima* var. *minutissima* (2.1%). Las clorofitas fue el siguiente grupo en importancia representado por *Chlorella vulgaris* (3.6%).

En la cueva del Cristal se presentaron 20 especies que sumaron una abundancia global acumulada superior al 90% (Fig. 15). Las cianofitas fueron el grupo con mayor contribución y la especie más importante fue *Lyngbia* sp. (17.2%). El siguiente grupo importante fue el de las bacilariofitas con *Nitzschia amphibioides* (9.8%), a continuación se presentaron *Navicula minuscula* (7.4%), *Cyclotella meneghiniana* (6.5%), *Cymbella microcephala* (5.7%), *Cocconeis placentula* var. *lineata* (4.9%), *Navicula cryptotenella* (4.9%), *Gomphonema* aff. *insigne* (4.1%) y *Gomphonema gracile* (4.1%).

La dominancia de las especies en los cenotes y cuevas de Quintana Roo fue establecida por cianobacterias unicelulares de pequeño tamaño como *Aphanocapsa koordersi*, *Chroococcus dispersus* y *Ch. minimus*. Este mismo fenómeno ha sido identificado por Margalef (1983) y por Carrillo *et al.* (1995) en sistemas poco productivos en donde se presenta una mayor abundancia de células pequeñas en relación con otros tamaños debido, probablemente, a que una relación superficie/volumen elevada (talla reducida) facilita la absorción de nutrimentos en condiciones de baja concentración de éstos.

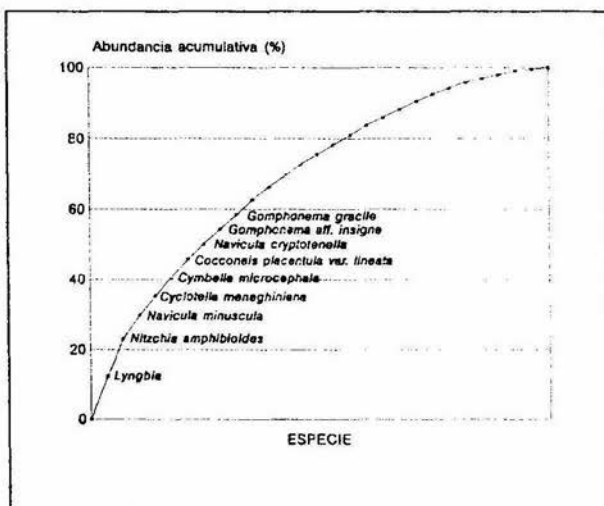


Fig. 15. Abundancia acumulativa de las especies de fitoplancton en la cueva del Cristal.

Duarte *et al.* (1992) menciona que la predominancia del fitoplancton en lagos poco productivos puede ser establecida por cianobacterias aunque indica que esta condición no siempre se cumple. En lagos oligotróficos de Canadá (Stockner y Shortreed 1991) se ha establecido la predominancia en el fitoplancton en más de un 70% por cianobacterias cocoides unicelulares o coloniales, posiblemente del género *Synechococcus*, así como comunidades del género *Chlorella*, lo cual coincide con lo que se presenta en los cenotes y cuevas de Quintana Roo. Sin embargo, -como indica Duarte *et al.* (1992)-, este patrón de comportamiento puede variar, como es registrado por Lemma (1995) para el lago oligotrófico Alemaya, en Etiopía, donde se registró una predominancia de clorofitas y por Biswas (1992) en el lago oligotrófico Ogelube, en Nigeria, donde se encontró un fitoplancton dominado por desmidiáceas.

En estudios realizados en otros cenotes de la Península de Yucatán, la dominancia de las especies no registró el mismo patrón de comportamiento que en los sistemas cársticos del presente estudio. Por ejemplo, en el estudio de López-Adrián *et al.* (1993) realizado en cuatro cenotes del estado de Yucatán se menciona la presencia de cianobacterias pequeñas unicelulares, aunque no se indica si fueron el grupo dominante. Para el cenote Dzitya (Sánchez *et al.* 1994) se menciona que el dinoflagelado *Thompsodinium intermedium* fue la especie dominante en todo el periodo de muestreo. En el cenote Xtogil (López-Adrián y Herrera-Silveira 1994) las diatomeas fueron el grupo más abundante (79% del total).

### Densidad general

La densidad promedio global en los cenotes y cuevas de Quintana Roo registró una fluctuación entre 4,000 y 676,000 cél/L. La densidad global no presentó variaciones entre época de secas y de lluvias, presentando en época de secas una variación entre 8,000 y 483,000 cél/L, mientras que en época de lluvias hubo una variación entre 4,000 y 676,000 cél/L.

### Densidad por cenote

La densidad del fitoplancton en los cenotes de Quintana Roo fluctuó entre 80,000 y 676,000 cél/L. En la época de secas se tuvo una variación en la densidad global de 106,000 y 483,000 cél/L, mientras que en la época de lluvias fue de 80,000 y 676,000 cél/L.

El cenote que presentó la densidad global más elevada fue el Mayan Blue con 444,250 cél/L y el valor más bajo fue en Casa con 127,083cél/L.

En época de secas el cenote que tuvo la abundancia mayor fue Mayan Blue con 483,000 cél/L, valor comparable al encontrado en Nohoch (449,000 cél/L). La densidad menor fue registrada en Casa con

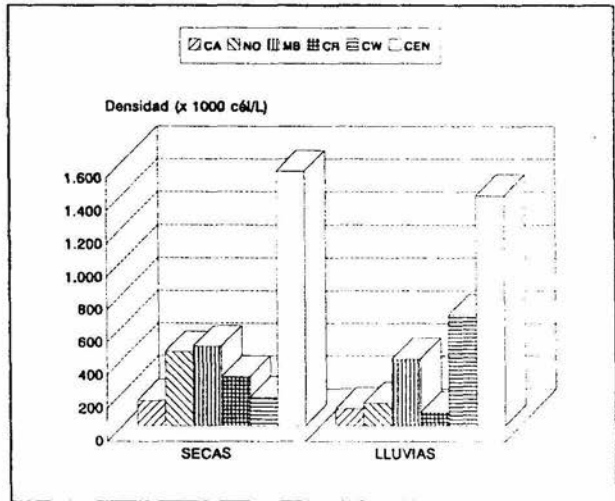


Fig. 16. Variación temporal de la densidad del fitoplancton registrada en los cenotes del NE de Quintana Roo (CA: Casa, NO: Nohoch, MB: Mayan Blue, CR: Cristal, CW: Carwash; CEN: total).



150,667 cél/L. En este último, en la superficie se registraron el mayor número de organismos (193,000 cél/L) y en el nivel intermedio la menor (106,000 cél/L). En el fondo se presentaron 153,000 cél/L. Los otros dos cenotes (Cristal y Carwash) tuvieron densidades intermedias (296,000 y 171,000 cél/L, respectivamente) (Fig. 16).

En época de lluvias Carwash presentó la densidad mayor (676,000 cél/L) a diferencia de lo encontrado en época de secas donde la densidad fue relativamente baja (171,000 cél/L). Esta densidad elevada se relaciona con la presencia de la cianofita *Chroococcus minimus* (272,000 cél/L, con un intervalo de confianza de la media de 27 200 cél/L) y la clorofita *Chlorella vulgaris* (261,000 cél/L, con un intervalo de confianza de la media de 26 100 cél/L). Ambas especies no fueron registradas en época de secas. Casa (103,500 cél/L) presentó una densidad global similar a la encontrada en la época de secas y el número de organismos en superficie y fondo fue similar (98,000 y 109,000 cél/L, respectivamente). Mayan Blue (405,500 cél/L) presentó también una densidad global similar a la de secas, sin embargo, el número mayor de organismos fue en el fondo (604,000 cél/L) a diferencia de lo encontrado en superficie (207,000 cél/L). Las densidades menores fueron encontradas en Nohoch (136,000 cél/L) y Cristal (80,000 cél/L). Ambos cenotes tuvieron una densidad baja al compararse con la época de secas (Fig. 16).

### Densidad en cuevas

En las cuevas, la densidad promedio global fluctuó entre 4,000 y 273,000 cél/L. En época de secas la densidad del fitoplancton presentó una variación de 8,000 y 273,000 cél/L mientras que en época de lluvias la fluctuación fue entre 4,000 y 29,000 cél/L.

La cueva con densidad global mayor fue la del Mayan Blue (55,333 cél/L), mientras que la cueva del Cristal tuvo una densidad de casi la mitad con 21,000 cél/L.

En época de secas la cueva del Mayan Blue presentó un número elevado de organismos (98,333 cél/L). Esto fue debido a que en la epiclina se registraron 273,000 cél/L, sin embargo en la haloclina y en la hipoclina

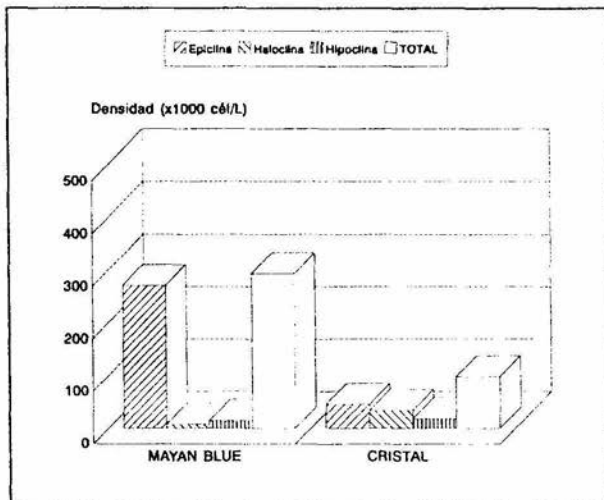


Fig. 17. Densidad del fitoplancton registrada en las cuevas del NE de Quintana Roo (época de secas).

se encontraron pocos organismos (8,000 y 14,000 cél/L, respectivamente). En la cueva del Cristal se registraron 32,333 cél/L y el número mayor de organismos fue en la epiclina con 45,500 cél/L. En la haloclina (34,500 cél/L) y en la hipoclina (17,000 cél/L) se presentaron un número menor de organismos (Fig. 17).

En época de lluvias las densidades registradas para ambas cuevas son bajas y similares (12,333 cél/L para la cueva del Mayan Blue y 9,667 cél/L para la cueva del Cristal). En el caso del Mayan Blue se presentó la mayor densidad en la epiclina (29,000 cél/L), mientras que la haloclina y la hipoclina registraron muy pocos organismos (4,000 cél/L en cada nivel). En la cueva del Cristal la densidad de organismos fue baja en los tres estratos. La epiclina tuvo 7,000 cél/L, la haloclina 12,000 cél/L y la hipoclina 10,000 cél/L (Fig. 18).

En el perfil vertical de las cuevas del Mayan Blue y del Cristal se observó que las densidades del fitoplancton siempre fueron superiores en el nivel de epiclina (Fig. 19), al igual que como ocurrió en el caso del bacterioplancton. Posiblemente, debido al cambio drástico en la densidad al pasar de la epiclina a la haloclina es lo que establece una barrera física para el desplazamiento de los organismos. El origen del fitoplancton de las cuevas proviene de las

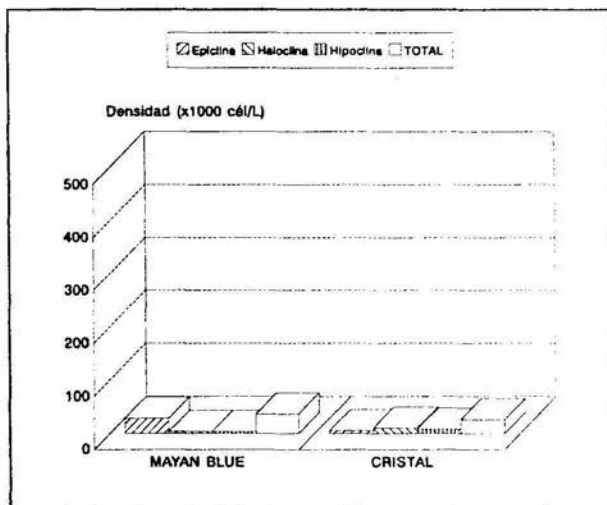


Fig. 18. Densidad del fitoplancton registrada en las cuevas del NE de Quintana Roo (época de lluvias).

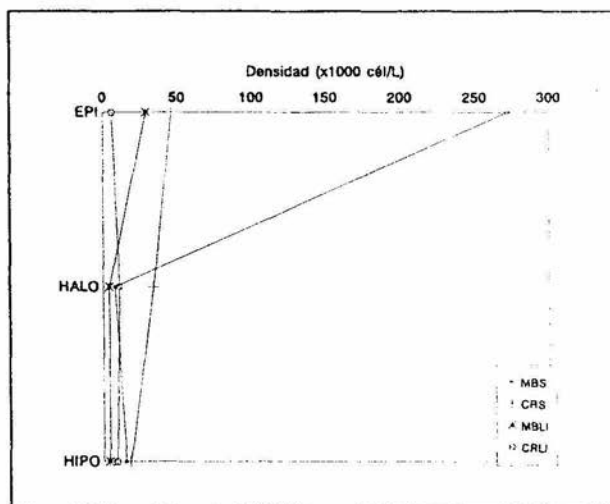


Fig. 19. Variación vertical de las densidades del fitoplancton en las cuevas del NE de Quintana Roo (MBS:Mayan Blue secas, CRS:Cristal secas, MBLI:Mayan Blue lluvias, CRLI:Cristal lluvias).

zonas circundantes iluminadas (cenotes).

Se realizó un análisis de conglomerados (1-r Pearson, unión simple) para tratar de corroborar las diferencias aparentes de las densidades del fitoplancton entre época de secas y de lluvias. Se hizo el análisis considerando tanto a los cenotes como a las cuevas. Los resultados indicaron que no hay diferencias temporales en las densidades registradas tanto de los cenotes como de las cuevas (Fig. 20). En el diagrama se observa que las dos épocas de muestreo de cada cenote se unen entre sí antes de unirse a cualquier otro cenote. Casa es el cenote que más se parece entre sí (37% de disimilaridad). Cristal se

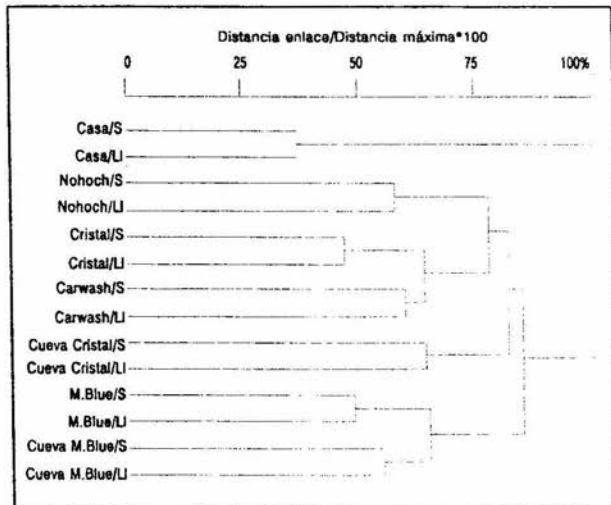


Fig. 20. Dendrograma de disimilaridad biológica -densidades fitoplanctónicas- (1-r Pearson) en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo (S:secas, LI:lluvias).

parece más a Carwash y después éste grupo se parece a Nohoch. El grupo Cristal-Carwash-Nohoch se une al cenote Mayan Blue y éstos cuatro se unen finalmente a Casa que es el sistema que se separa completamente de los otros cenotes. En el caso de las cuevas, éstas se parecen más entre sí que con el resto de los cenotes. Se aprecia que la cueva del Mayan Blue se une al grupo del Mayan Blue (cenote) a un nivel del 65% de disimilaridad, lo cual indica la similitud que se presenta entre cenote y cueva del mismo grupo, sin embargo, en la cueva del Cristal, el comportamiento es diferente, ya que forma un grupo separado que se une primero al cenote Carwash y después al cenote Cristal.

En el cenote Xtogil, en Yucatán, se encontraron densidades superiores a las encontradas en este estudio; además se registraron fluctuaciones temporales entre época de secas y de lluvias. Las densidades en el cenote Xtogil fueron del orden de  $10^6$  cél/L en secas y  $10^4$  cél/L en lluvias a lo que López-Adrián y Herrera-Silveira (1994) sugieren que la temperatura es un factor que controla el desarrollo del fitoplancton en este cenote. Las densidades encontradas en Xtogil corresponden a ambientes eutróficos de acuerdo a Sime-Ngando (1995). En el estudio de López-Adrián *et al.* (1993) también fueron registradas diferencias en la densidad de organismos, relacionado con las épocas contrastantes, presentándose florecimientos algales después de la época de lluvias, los cuales aprovechan los nutrientes que arrastran las lluvias hacia el cenote. Carwash presentó una densidad más elevada en época de lluvias (171,000 cél/L en secas y 676,000 cél/L en lluvias) sin embargo, Alcocer *et al.* (1998) registraron variaciones mínimas en las concentraciones reducidas de nutrientes lo cual no explicaría la mayor densidad de organismos registrada en este cenote, según lo indicado por López-Adrián *et al.* (1993).

El fitoplancton requiere de una gran variedad de nutrimentos, tanto orgánicos como inorgánicos, y se asume que el fósforo es el elemento limitante para el desarrollo de las algas en ecosistemas dulceacuícolas. Como se mencionó con antelación, el fósforo es un elemento limitante en los sistemas cársticos porque se encuentra precipitado debido a la presencia de carbonato de calcio que lo retiene fuertemente (Golterman 1984). De esta manera, la productividad se ve ampliamente limitada (Margalef 1983). Cuando hay incrementos momentáneos en los nutrimentos, el fitoplancton los aprovecha, asimilándolos rápidamente y desarrollando, en consecuencia, una elevada densidad; sin mostrar una clara relación entre incremento de nutrimentos y de densidad fitoplanctónica (South y Whittick 1987). Este fenómeno podría explicar la elevada densidad de organismos registrada en el cenote Carwash en la época de lluvias, a pesar de que los nutrimentos no fueron elevados.

En los lagos oligotróficos las densidades fitoplanctónicas son reducidas, por ejemplo en el lago oligotrófico Ogelube, en Nigeria, se registraron densidades del orden de  $10^3$  cél/L (Biswas 1992). Densidades similares fueron encontradas en otros lagos oligotróficos como el Alemaya, en Etiopía (Lemma 1995) y en lagos del oeste de Canadá (Stockner y Shortreed 1991). Es así como las densidades promedio del fitoplancton registradas en los cenotes y cuevas de Quintana Roo corresponden a ambientes acuáticos oligotróficos.

### Diversidad ecológica

La diversidad específica, de los cenotes y cuevas de Quintana Roo, expresada a través del índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) fluctuó entre 2.5 y 5.0 bits.ind<sup>-1</sup>. Casa mostró la mayor diversidad con 5.0 bits.ind<sup>-1</sup>, mientras que la menor diversidad se registró en Mayan Blue con 2.5 bits.ind<sup>-1</sup>. Los demás sistemas presentaron una diversidad intermedia con 2.7, 3.4, 3.9, 4.6 y 4.7 bits.ind<sup>-1</sup> para Carwash, Cristal, Nohoch, la cueva del Mayan Blue y la cueva del Cristal, respectivamente (Tabla 8). El valor del índice de diversidad de Shannon generalmente se encuentra entre 1.5 y 3.5 y sólo pocas veces sobrepasa el valor de 4.5 (Magurran 1988). En el caso del fitoplancton, los valores de diversidad de Shannon fluctúan entre 2.5 y 3.0 y tienden a ser mayores en lagos oligotróficos en comparación con los lagos eutróficos (Margalef 1983). Con base en lo anterior, la diversidad registrada en los cenotes y cuevas de Quintana Roo es elevada, la cual corresponde a ambientes acuáticos oligotróficos.

Al comparar los valores de diversidad del presente estudio (2.5-5.0) con los obtenidos para otros sistemas similares, la diversidad en los cenotes y cuevas de Quintana Roo resultó más elevada. Por ejemplo, en el cenote Xtogil se encontraron valores de diversidad entre 0.9 y 4.4 (López-Adrián y Herrera-Silveira 1994). En general, se observa un aumento gradual de la diversidad en dirección al mar, de 2.4 a 4.2 (Margalef 1983), situación que se presenta en los cenotes y cuevas de Quintana Roo. Lincea (1974) indica que la diversidad siempre será mayor en ambientes donde exista una influencia de especies marinas, así como de aguas continentales.

Los valores de equitatividad (E) fluctuaron desde intermedios (0.445) hasta elevados (0.976) y, en este caso, no siguieron el mismo orden que los valores de diversidad. El valor

máximo de equitatividad fue en la cueva del Cristal con 0.976 y el valor mínimo se registró en el Mayan Blue con 0.445. Con valores altos se presentaron Casa (0.893), la cueva del Mayan Blue (0.885) y Nohoch (0.722). Valores intermedios mostraron Cristal (0.670) y

| CENOTE/CUEVA     | S  | H'  | Hmáx  | E     |
|------------------|----|-----|-------|-------|
| CASA             | 50 | 5.0 | 5.644 | 0.893 |
| NOHOCH           | 41 | 3.9 | 5.358 | 0.722 |
| MAYAN BLUE       | 47 | 2.5 | 5.555 | 0.445 |
| CRISTAL          | 34 | 3.4 | 5.087 | 0.670 |
| CARWASH          | 32 | 2.7 | 5.000 | 0.546 |
| CUEVA MAYAN BLUE | 37 | 4.6 | 5.209 | 0.885 |
| CUEVA CRISTAL    | 28 | 4.7 | 4.807 | 0.976 |

Tabla 8. Riqueza específica total (S), diversidad específica (H'), diversidad máxima (Hmáx) y equitatividad (E) de las especies de fitoplancton en los cenotes y cuevas del NE de Quintana Roo.

Carwash (0.546). Los valores intermedios de equitatividad, registrados para Mayan Blue y Carwash, son consecuencia de la elevada densidad de las especies *Aphanocapsa koordersi* en Mayan Blue y *Chroococcus minimus* en Carwash; por lo tanto, los valores de diversidad también se vieron afectados, siendo por consecuencia, los más bajos.

Las diversidades máximas (Hmáx) calculadas fluctuaron entre 4.807 (cueva del Cristal) y 5.644 (Casa) y siguieron el mismo patrón que la riqueza específica, es decir, mientras mayor fue la riqueza específica, mayor lo fue la diversidad máxima. La diversidad máxima es un parámetro que se presenta cuando todas las especies son igualmente abundantes (Magurran 1988). Al menos para las dos cuevas y el cenote Casa, la diversidad (H') y la diversidad máxima (Hmáx) son parecidas, lo cual indica que ninguna especie en particular en estos sistemas, presenta valores de dominancia importantes.

La diversidad mostró una correlación elevada con la equitatividad ( $r^2=0.94$ ), no así con la riqueza específica ( $r^2=0.0007$ ).

Por lo tanto, considerando que en Casa no se presenta dominancia por parte de alguna especie -lo cual se ve reflejado en una equitatividad elevada-, no es sorprendente que el valor de diversidad sea asimismo el más alto. En el caso de la cueva del Cristal, presenta una equitatividad elevada y una diversidad máxima muy parecida al valor de diversidad, lo cual hace que éste último parámetro sea también alto.

En resumen, la diversidad del fitoplancton registrada en los cenotes y cuevas de Quintana Roo es elevada, correspondiente a ambientes acuáticos oligotróficos. Esta diversidad elevada se ve reflejada, asimismo, en valores de diversidad máxima y de equitatividad que van de intermedios a elevados.

## CONCLUSIONES

Los cenotes y cuevas de Quintana Roo presentaron densidades bacterianas planctónicas bajas ( $5.8 \times 10^2$  -  $1.1 \times 10^4$  cél/mL) y similares, correspondientes a ambientes acuáticos ultraoligotróficos a oligotróficos.

No se registraron diferencias temporales en las densidades bacterianas planctónicas, sin embargo fueron significativamente superiores en las cuevas, en comparación con los cenotes. Esto fue probablemente establecido por la elevada densidad bacteriana que se presentó en la epiclina de la cueva del Mayan Blue en época de secas ( $2.4 \times 10^4$  cél/mL).

En las cuevas, las densidades bacterianas planctónicas siempre fueron superiores en la epiclina e inferiores en la haloclina e hipoclina, lo cual se debe al cambio drástico de densidad.

Fueron registrados tres morfotipos bacterianos en los cenotes: bacilos, cocos y filamentosos. En las cuevas sólo se registraron bacilos y filamentosos.

El fitoplancton registrado en los cenotes y cuevas de Quintana Roo ascendió a 79 taxa, siendo la mayoría de las especies pertenecientes a las bacilariofitas (74.6%). Se presentaron también cianofitas (14%), clorofitas (10.1%) y euglenofitas (1.3%).

La composición de especies fue similar en los cenotes dulceacuícolas (Nohoch, Mayan Blue, Cristal y Carwash), mientras que Casa registró una composición de especies diferente (0.113 de similitud), debido a la presencia de especies marinas (12 especies) que no se encontraron en los otros cenotes. En las cuevas la composición de especies fue similar a la registrada en los cenotes, aunque el número de especies fue menor.

La mitad de las especies aportaron el 90% de la abundancia total. Las especies más abundantes fueron cianofitas unicelulares, principalmente *Aphanocapsa koordersi*, *Chroococcus dispersus* y *Chroococcus minimus*, así como cianofitas filamentosas como *Lyngbia* sp., *Oscillatoria limosa* y *Phormidium tenue*.

La densidad global del fitoplancton fluctuó entre 4,000 y 676,000 cél/L, densidades similares a las encontradas en otros ambientes acuáticos oligotróficos. En los cenotes la densidad del fitoplancton fue superior (8,000 - 676,000 cél/L), en comparación con la densidad registrada en las cuevas (4,000 - 273,000 cél/L).

No se detectaron diferencias significativas temporales en la composición de especies ni en los valores de densidad fitoplanctónica. Sin embargo, Carwash presentó una elevada densidad de organismos en la época de lluvias debido a la presencia de las especies *Chroococcus minimus* y *Chlorella vulgaris*.

En las cuevas, los valores de densidad fitoplanctónica fueron siempre superiores en la epiclina e inferiores en la haloclina y la hipoclina. Densidades elevadas -comparables a las

registradas en los cenotes- se presentaron en la epiclina de la cueva del Mayan Blue en la época de secas.

La diversidad específica ( $H'$ ) calculada fue elevada y correspondiente a ambientes acuáticos oligotróficos. Los valores de equitatividad ( $E$ ) fluctuaron desde intermedios a elevados, lo cual indica que en estos sistemas no se presentan valores de dominancia significativos.



## LITERATURA CITADA

- Alcocer, J., A. Lugo, L.E. Marín y E. Escobar. 1998. Geochemical evaluation of water from five cenotes for use as potential drinking-water supplies, northeastern Yucatan, Mexico. *Hydrogeology Journal*
- APHA, AWWA y WPCF. 1985. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. APHA. New York. 1268 pp.
- Back, W. y B.B. Hanshaw, 1970. Comparison of chemical hydrogeology of the carbonate Peninsulas of Florida and Yucatan. *Journal of Hydrology* 10: 330-368.
- Back, W., B.B. Hanshaw, J.S. Herman y J.N. VanDriel. 1986. Differential dissolution of a Pleistocene reef in the groundwater mixing zone of coastal Yucatan, Mexico. *Geology* 14: 137-140.
- Biswas, S. 1992. Phytoplankton periodicity in Ogelube lake, Anambra state, Nigeria during 1979-1980. *Hydrobiologia* 246:169-172.
- Bourrely. P. 1966. *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome I: Les algues vertes*. Ed. N. Boubée & Cie. Paris. 572 pp.
- Bourrely. P. 1968. *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome II: Les algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Pheophycées, Xanthophycées et Diatomées*. Ed. N. Boubée & Cie. Paris. 517 pp.
- Bourrely. P. 1970. *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome III: Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines*. Ed. N. Boubée & Cie. Paris 512 pp.
- Brigmon, R.L. y Morris, T.L. 1995. Diving protocol for sterile sampling of aquifer bacteria in underwater caves. *National Speotological Society Bulletin*. 57:24-30.
- Brigmon, R.L., H.W. Martin, T.L. Morris, G. Bitton y S.G. Zam. 1994. Biogeochemical ecology of *Thiothrix* spp. in underwater limestone caves. *Geomicrobiology Journal* 12: 141-159.
- Carrillo, P., I. Reche, P. Sánchez-Castillo y L. Cruz-Pizarro. 1995. Direct and indirect effects of grazing on the phytoplankton seasonal succession in an oligotrophic lake. *Journal of Plankton Research* 17(6): 1363-1379.

- Chapelle, F. 1993. *Ground-water microbiology and geochemistry*. John Wiley & Sons, Nueva York. 424 pp.
- Creaser, E.P. 1936. Crustaceans from Yucatan. *Carnegie Institution of Washington* 457: 117-132.
- Creaser, E.P. 1938. Large cave Crustacea of the Yucatan Peninsula. *Carnegie Institution of Washington* 491: 159-164.
- Doehring, D.O. y J.H. Butler. 1974. Hydrogeologic constraints on Yucatan's development. *Science* 186: 591-595.
- Duarte, C., S. Agustí y D.E. Canfield. 1992. Patterns in phytoplankton community structure in Florida lakes. *Limnology and Oceanography* 37(1): 155-161.
- Edler, C. y W.K. Dodds. 1992. Characterization of a groundwater community dominated by *Caecidotea tridentata* (Isopoda). *Proceedings of the First International Conference on Groundwater Ecology*. USEPA y American Water Resources Association, Kansas. 91-99 pp.
- Edler, C. y W.K. Dodds. 1996. The ecology of a subterranean isopod, *Caecidotea tridentata*. *Freshwater Biology* 35: 249-259.
- Fuks, D., R. Precali y M. Devescovi. 1994. Bacterial production in the stratified karstic estuary of the Krka river. *Acta Adriatica* 34(1/2): 21/28.
- Furtos, N.C. 1936. On the Ostracoda from the cenotes of Yucatan and vicinity. *Carnegie Institution Washington* 457: 89-115.
- Gaona-Vizcayno, S., T. Gordillo-de Anda y M. Villasuso-Pino. 1980. Cenotes, karst característico: mecanismos de formación. *Univ. Nat. Autón. México, Inst. Geología, Revista* 4(1): 32-36.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. E. García, México. 217 pp.
- Geitler, L. 1932. *Cyanophyceae*. Akademische verlagsgesellschaft. m.b.H. Leipzig. 1196 pp.
- Gibert, J. 1988. Functional sub-units an exsurgence karstic system, and exchanges with the surface environment. Reflection on the characterization of natural aquatic groundwater. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23: 1090-1096.

- Giffen, M.H. 1963. Contributions to the diatom flora of South Africa. *Hydrobiologia* 21:201-265.
- Golterman, H.L. 1984. Sediments, modifying and equilibrating factors in the chemistry of freshwater. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22:23-59.
- Gounot, A.M. 1994. Microbial ecology of groundwaters. pp. 189-215. *In*: Gibert, J., D.L. Danielopol y J.A. Stanford (ed.). *Groundwater ecology*. London Academic Press. Londres.
- Hall, F.G. 1936. Physical and chemical survey of cenotes of Yucatan. *Carnegie Institution of Washington* 457: 5-16.
- Hasle, G.R. y G.A. Fryxell. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Amer. Microsc. Soc.* 89(4): 469-474.
- Hanshaw, B.B. y W. Back. 1980. Chemical mass-wasting of the northern Yucatan Peninsula by groundwater dissolution. *Geology* 8: 222-224.
- Herrera-Silveira, J.A. 1994. Nutrients from underground water discharges in a coastal lagoon (Celestun, Yucatan, Mexico). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25:1398-1401.
- Herrera-Silveira, J.A., F.A. Comín, S. López e I. Sánchez. 1997. Limnological characterization of aquatic ecosystems in Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26
- Hobbs, H.H. III. 1979. Additional notes on cave shrimps (Crustacea: Atyidae and Palaemonidae) from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 92: 618-633.
- Hobbs, H.H. III y H.H. Hobbs, Jr. 1976. On the troglobitic shrimps of the Yucatan Peninsula, Mexico (Decapoda: Atyidae and Palaemonidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* 240: 1-23.
- Holthius, 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 the description of one new genus and four new species. *Zool. Verh.* 128: 1-48.
- Hubbs, C.L. 1936. Fishes of the Yucatan Peninsula. *Carnegie Institution of Washington* 457: 157-287.

- Hubbs, C.L. 1938. Fishes from the caves of Yucatan. *Carnegie Institution of Washington* 491: 261-295.
- Hustedt F. 1930a. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 1 Teil: Einleitung und Centricae*. Otto Koeltz Science Publishers. Koenigstein. 920 pp.
- Hustedt, F. 1930b. *Bacillariophyta (Diatomeae)*. In: Pascher A. (Ed.): Die Sueswasser-Flora Mitteleuropas 10. 2nd. ed. Gustav Fischer Verlag. Jena. 466 pp.
- Hustedt, F. 1959. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 2 Teil: Pennatae*. Otto Koeltz Science Publishers. Koenigstein. 845 pp.
- Hustedt, F. y N.G. Jensen. 1985. *The pennate diatoms*. Koeltz Scientific Books. Koenigstein. 918 pp.
- Hutchinson, E.G. 1957. *A treatise on Limnology*. Vol. 1. Geography, Physics and Chemistry. John Wiley & Sons. Nueva York. 137 pp.
- Iliffe, T.M. 1992. An annotated list of the troglobitic anchialine and freshwater fauna of Quintana Roo. pp. 197-215. In: Navarro, D. y E. Suárez (ed.). *Diversidad biológica en la reserva de la biósfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México*. Centro de investigaciones de Quintana Roo. México.
- Iliffe, T.M. 1993. Fauna troglobia acuática de la Península de Yucatán. pp. 673-686. In: Salazar-Vallejo S.I. y N. Emilia Gonzáles (ed.). *Biodiversidad marina y costera de México*. Comisión Nacional para la Biodiversidad y CIQRO. México.
- Komárek, J. y B. Fott. 1983. *Das phytoplankton des süßwassers Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Chlorococcales*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart. 1044 pp.
- Komárek, J. y K. Anagnostidis. 1986. Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 2. Chroococcales. Arch. Hydrobiologic Supplies 73. *Algological Studies* 43: 157-226.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1986. *Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 876 pp.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1988. *Bacillariophyceae. 2 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 596 pp.
- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1991a. *Bacillariophyceae. 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 575 pp.

- Krammer, K. y H. Lange-Bertalot. 1991b. *Bacillariophyceae. 4 Teil: Acanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (lineolatae) und Gomphonema*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437 pp.
- Lemma, B. 1995. Seasonal limnological studies on lake Alemaya: a tropical African lake, Ethiopia. *Arch. Hydrobiol. Suppl. Monogr. Stud.* 107(2): 263-285.
- Llopis, N. 1970. *Fundamentos de hidrogeología cárstica (introducción a la geoespeleología)*. Blume. Madrid. 269 pp.
- López-Adrián, S. I. Sánchez, R. Tavera, J. Komarek, J. Komarkova y M. Villasuso. 1993. *Estudio ecológico de los cuerpos de aguas continentales de la península de Yucatán. Aspectos ficológicos*. Programa de Ecología Terrestre. SEP, UAY, FMVZ. Mérida. s/p.
- López-Adrián, S. y J.A. Herrera-Silveira. 1994. Plankton composition in a cenote, Yucatan, Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 1402-1405.
- López, B.L. y N. Borrero. 1977. Lista de especies de algas unicelulares para las aguas de la plataforma cubana. *Informe científico-técnico No. 11*. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana. 20 pp.
- Licea-Durán, S. 1974. Sistemática y distribución de diatomeas de la laguna de Agiabampo, Son./Sin., México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología* 1(1):99-156.
- Maderey, R.L. 1967. *Estudio preliminar sobre las aguas subterráneas en México*. Instituto de Geografía, UNAM. México. 77 pp.
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University. Princeton. 179 pp.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Madrid. 1010 pp.
- Marín, L.E. y E.C. Perry. 1994. The hydrogeology and contamination potential of northwestern Yucatan, Mexico. *Geofísica Internacional* 33(4): 619-623.
- Marmonier, P., P. Vervier, J. Gibert y M.J. Dole-Olivier. 1993. Biodiversity in ground waters. *Tree* 8(11): 392-395.
- Martin, H.W., R.L. Brigmon y T.L. Morris. 1995. Diving protocol for sterile sampling of aquifer bacteria in underwater caves. *NSS Bulletin* 57: 24-30.

- Moreno, J.L., S. Licea y H. Santoyo. 1996. *Diatomeas del Golfo de California*. SEP-FOMES, PROMARCO, UABCS. Baja California. 273 pp.
- Morris, T.L. 1994. Natural science and history. *Underwater Speleol.* 21(4): 15, 18.
- Navarro, J.N. 1983. A survey of the marine diatoms of Puerto Rico. *Botánica Marina* XXVI:393-408.
- Ochs, C.A., J.J. Cole y G.E. Likens. 1995. Population dynamics of bacterioplankton in an oligotrophic lake. *Journal of Plankton Research* 17(2): 365-391.
- Oliva, M.G. y M.M. Ortega. 1983. Estudio preliminar de la vegetación sumergida en la laguna Caimanero y marisma de Huizache, Sinaloa. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 54:113-152
- Ortega, M. 1984. *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Instituto de Biología. UNAM. México. 566 pp.
- Ortega, M., J.L. Godínez, G. Garduño, y M.G. Oliva. 1994. *Ficología de México. Algas continentales*. AGT. México. 221 pp.
- Patrick, R. y C.W. Reimer. 1966. *The diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii. Vol. I*. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. NAS. Philadelphia. 688 pp.
- Patrick, R. y C.W. Reimer. 1975. *The diatoms of the United States. Vol. II*. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. NAS. Philadelphia. 213 pp.
- Pearse, A.S. (ed.). 1936. Fauna of the caves of Yucatan. *Carnegie Institution of Washington* 457: 1-304.
- Pearse, A.S. (ed.). 1938. Fauna of the caves of Yucatan. Introduction. *Carnegie Institution of Washington* 491: 1-17.
- Perry, E., J. Swift, J. Gamboa, A. Reeve, R. Sanborn, L. Marín y M. Villasuso. 1989. Geologic and environmental aspects of surface cementation north coast, Yucatan, Mexico. *Geology* 17: 818-821.
- Porter, K.G. y Y.S. Feig. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* 25(5): 943-948.
- Redell, J.R. 1977. A preliminary survey of the caves of the Yucatan Peninsula. *Assoc. Mex. Cave Stud. Bull.* 6: 215-296.

- Redell, J.R. 1981. *A review of the cavernicole fauna of Mexico, Guatemala and Belize*. Bull. 27. Texas Memorial Museum. Austin. 327 pp.
- Salas, H.J. y P. Martino. 1988. Desarrollo de metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. *Memorias del IV Encuentro "Eutroficación de lagos tropicales"*. San Juan De Puerto Rico. CEPIS. s/p.
- Sánchez, I. 1985. Bacillariophyta. pp. 1-13. In: Zamacona, J. (ed.). *Flora planctónica de los cenotes de Yucatán*. Departamento de acuacultura y biología marina. Mérida.
- Sánchez-Molina, I., C. Zetina-Moguel, R. Medina-González y L. Pérez-Aranda. 1994. Phytoplankton composition in cenote Dzitya, Yucatan, Mexico. *Lake Reservoir Management* 9(2):111.
- Sarbu, S. y R. Popa. 1992. A unique chemoautotrophically based cave ecosystem. pp. 637-663. In: Camacho, A.I.(ed.). *The Natural History of Biospeleology*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid.
- Simek, K., M. Macek, J. Pernthaler, V. Straskrabova y R. Psenner. 1996. Can freshwater planktonic ciliates survive on a diet of picoplankton? *J. Plankton Research* 18(4):597-613.
- Sime-Ngando, T. 1995. Population dynamics of autotrophic picoplankton in relation to environmental factors in a productive lake. *Aquatic Science* 57(2):91-105.
- Sládeček, V. 1978. Relation of saprobic to trophic levels. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 20: 1885-1889.
- Sládeček, V., M. Zelinka, J. Rothschein y V. Moravcová. 1981. *Biologicky rozbor povrchové vody*. Komentár K CSN 830532. části 6: Stanovení saprobniho indexu. Vydavatelství. 185 pp.
- South, G.R. y A. Whittick. 1987. *Introduction to phycology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 341 pp.
- Stock, J.H., T.M. Iliffe y D. Williams. 1986. The concept of "anchialine" reconsidered. *Stygologia* 2: 90-92.
- Stockner, J.G. y K.S. Shortreed. 1991. Autotrophic picoplankton : community composition, abundance and distribution across a gradient of oligotrophic British Columbia and Yukon territory lakes. *Int. Rev. Gesamt. Hydrobiol.* 76(4): 581-601.

- Stoesell, R.K., Y.H. Moore y J.G. Coke. 1993. The occurrence and effect of sulfate reduction and sulfide oxidation on coastal limestone dissolution in Yucatan cenotes. *Groundwater* 31(4):566-575.
- Vadstein, O., A. Jensen, Y. Olsen y H. Reinertsen. 1988. Growth and phosphorous status of limnetic phytoplankton and bacteria. *Limnology and Oceanography* 33(4-1):489-503.
- Vollenweider, R.A. 1974. *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. Blackwell Scientific Publications, IBP. Handbook No. 12. Gran Bretaña. 225 pp.
- Weisse, T. 1990. Trophic interactions among heterotrophic microplankton, nanoplankton and bacteria in lake Constance. *Hydrobiología* 191: 111-122.
- Wetzel, R.G. 1981. *Limnología*. Omega. Barcelona. 679 pp.
- Wilson, W. L. y T.L. Morris. 1994. Cenote Verde: A meromictic karst pond, Quintana Roo, Mexico. pp 77-79. In: Sasowsky I.D. y M.V. Palmer (ed.). *Breakthroughs in karst geomicrobiology and Redox Geochemistry Symposium*. Colorado Springs. CO. Special Publication No. 1 Karst Waters Inst. Charles Town.



## ANEXO 1

| FAM   | CA   |      | NO   |      | MB  |      | CR   |     | CW   |      | CMB  |      | CCR  |      |
|-------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
|       | S    | LI   | S    | LI   | S   | LI   | S    | LI  | S    | LI   | S    | LI   | S    | LI   |
| Chro  | 2.4  | 2.3  | 2.5  | 5.3  | 0   | 0    | 3.4  | 4.2 | 7.7  | 7.4  | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Micr  | 0    | 0    | 7.5  | 5.3  | 5.7 | 2.7  | 0    | 0   | 0    | 3.7  | 3.2  | 7.7  | 0    | 0    |
| Pseu  | 0    | 0    | 2.5  | 0    | 0   | 2.7  | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Phor  | 2.4  | 0    | 5    | 5.3  | 5.7 | 5.4  | 0    | 4.2 | 3.8  | 3.7  | 6.4  | 0    | 0    | 0    |
| Oscil | 2.4  | 2.3  | 7.5  | 5.3  | 2.9 | 2.7  | 3.4  | 0   | 0    | 0    | 6.4  | 0    | 3.8  | 0    |
| Thal  | 2.4  | 2.3  | 2.5  | 5.3  | 2.9 | 2.7  | 3.4  | 4.2 | 3.8  | 3.7  | 3.2  | 7.7  | 3.8  | 0    |
| Melo  | 2.4  | 2.3  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Bidd  | 2.4  | 2.3  | 2.5  | 5.3  | 2.9 | 2.7  | 3.4  | 4.2 | 3.8  | 3.7  | 3.2  | 0    | 0    | 0    |
| Frag  | 14.3 | 11.6 | 10   | 5.3  | 8.6 | 5.4  | 10.3 | 8.3 | 11.5 | 3.7  | 12.9 | 0    | 15.4 | 10.5 |
| Euno  | 0    | 0    | 5    | 0    | 2.9 | 2.7  | 6.9  | 0   | 3.8  | 3.7  | 3.2  | 7.7  | 7.7  | 10.5 |
| Achn  | 14.3 | 16.3 | 5    | 5.3  | 5.7 | 5.4  | 10.3 | 8.3 | 15.4 | 7.4  | 12.9 | 23.1 | 11.5 | 10.5 |
| Navi  | 5.2  | 39.5 | 30   | 42.1 | 40  | 45.9 | 41.4 | 50  | 42.3 | 48.1 | 35.4 | 38.5 | 46.1 | 57.9 |
| Epit  | 2.4  | 2.3  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Bacil | 7.1  | 9.3  | 12.5 | 15.8 | 20  | 10.8 | 10.3 | 8.3 | 7.7  | 7.4  | 12.9 | 7.7  | 3.8  | 5.3  |
| Eugl  | 0    | 0    | 2.5  | 0    | 0   | 2.7  | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Chlo  | 2.4  | 2.3  | 0    | 0    | 0   | 2.7  | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Hydr  | 0    | 2.3  | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Oocy  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 2.7  | 3.4  | 8.3 | 0    | 7.4  | 0    | 7.7  | 3.8  | 5.3  |
| Scen  | 0    | 2.3  | 2.5  | 0    | 2.9 | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Chla  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 2.7  | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Ulotr | 0    | 2.3  | 2.5  | 0    | 0   | 0    | 3.4  | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Zygn  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 3.8  | 0    |

Composición del fitoplancton por familia (%) en los cenotes y cuevas de Quintana Roo (FAM: familia, CA: Casa, NO: Nohoch, MB: Mayan Blue, CR: Cristal, CW: Carwsah, CMB: cueva del Mayan Blue, CCR: cueva del Cristal, S: Secas, LI: Lluvias, Chro: Chroococcaceae, Micr: Microcystaceae, Pseu: Pseudanabaenaceae, Phor: Phormidiaceae, Oscil: Oscillatoriaceae, Thal: Thalassiosiraceae, Melo: Melosiraceae, Bidd: Biddulphiaceae, Frag: Fragilariaceae, Euno: Eunotiaceae, Achn: Achnanthaceae, Navi: Naviculaceae, Epit: Epithemiaceae, Bacil: Bacillariaceae, Eugl: Euglenaceae, Chlo: Chlorococaceae, Hydr: Hydrodictyaceae, Oocy: Oocystaceae, Scen: Scenedesmeaceae, Chla: Chlamydomonadaceae, Ulotr: Ulotracheae, Zygn: Zygnemataceae).