



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Diversidad y abundancia del zooplancton
de cuatro cenotes del Sistema Ox Bel
Ha, Quintana Roo, México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

Claudia Olinka Cortés Gándara

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Fernando Álvarez Noguera

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.,

Febrero 2017





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Datos del jurado

1. Datos alumno

Cortés
Gándara
Claudia Olinka
Teléfono: 0445521756123
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
306001994

2. Datos asesor

Dr
Fernando
Álvarez
Noguera

3. Datos sinodal

Dra
Margarita
Ojeda
Carrasco

4. Datos sinodal

Dra
María de la Luz
Espinosa
Fuentes

5. Datos sinodal

Dr en Geociencias
Benjamín
Quiroz
Martínez

6. Datos sinodal

M. en C.
Gema Yolanda
Armendáriz
Ortega

7. Datos del trabajo escrito

Diversidad y abundancia del zooplancton de cuatro cenotes del Sistema Ox Bel Ha, Quintana Roo,
México
60 pp
2017

“Innumerables veces he tenido que explicarles a los periodistas que nuestro equipo no tenía ningún objetivo, ninguna idea de qué íbamos a encontrar en una misión; si como explorador hubiera sabido lo que iba a encontrar, no hubiera ido. Del mismo modo, el científico se aventura en la célula, el átomo o el cosmos sin saber lo que le espera”.

Jacques Cousteau

A mis padres Claudia. A. Gándara García Malo y Colberdt Cortés López quienes me dieron la vida terrenal y espiritual, que con su ejemplo y convicción me enseñaron a tener perseverancia, fortaleza y credibilidad en mi misma.

A mis ancestros, especialmente mis abuelos Angélica García Malo I García y José López Martínez, quienes me enseñaron de la compasión, humildad y el amor incondicional.

A Igmar Essau Salinas E. y a mi hermano por mostrarme las grandes sorpresas de la vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a mis padres quienes tuvieron la confianza y paciencia, así como el apoyo incondicional que necesitaba día a día. A ellos les debo mis logros y meritos.

Agradezco la confianza y disposición, así como el gran apoyo y oportunidades que me ofreció mi asesor para llevar a cabo esta tesis, el Dr. Fernando Álvarez Noguera. Al Dr. José Luis Villalobos por ser una guía en la taxonomía de algunos crustáceos, así como, su disposición a apoyarme creyendo en mi. A la M. en C. Gema Yolanda Armendáriz. O. Por sus comentarios de mejora para el trabajo y para la parte académica, así como la guía durante mi estancia en el taller y la preocupación por el desempeño de los alumnos.

Al financiamiento para llevar a cabo este estudio a través de los proyectos CONACYT Ciencia Básica, 155644-546, “Procesos que generan y mantienen la biodiversidad en un ambiente extremo: los sistemas anquihalinos de Yucatán”, Texas A&M- CONACYT Collaborative Research Grant Program “What promotes species diversification in anchialine habitats? y DGAPA-PAPIIT UNAM IN205314, ¿Puede la criptofauna de crustáceos indicar el estado de conservación de un arrecife?” otorgados al Dr. Fernando Álvarez.

Gracias a todos los que participaron en la toma de datos, Dr. Fernando Álvarez, Dr. José Luis Villalobos, Sergio A. Benítez León, Vania Pérez y Luis. A los buzos que realizaron la toma de muestras y datos, Dr. Thomas Iliffe, Bil Phillips, Tyler Winkler, Brett Gonzalez y David Brankovitz, por su apoyo y por compartir sus experiencias e ideas, haciendo de la investigación una gran aventura nutritiva.

Agradezco especialmente a la Dra. Alicia Cruz Martínez por su gran apoyo y dedicación en la parte estadística y ecológica de mi tesis. Al Dr. Eduardo Suárez, por la gran ayuda en la identificación de copépodos y a la Dra. Elsa Arellano Torres por la identificación de foraminíferos, quienes tienen una gran disposición. Particularmente a la Dra. Margarita Ojeda quien aparte de su ayuda con la identificación de los ácaros fue una guía científica con sus comentarios constructivos, así como sus cuidados en campo y palabras alentadoras. A la Biol. Susana Guzmán Gómez y a la M. en C. María Berenit Mendoza Garfias por su ayuda y asesoramiento en la toma de fotografías del microscopio de capas y de barrido. Al Dr. Benjamín Quiroz por sus aportaciones estadísticas.

A la Dra Pilar Alonso y a mi amiga Ana Laura Rivero Peralta por su tiempo para resolver dudas acerca de los estadísticos y resultados.

Con gran aprecio agradezco a mi instructor de buceo deportivo Jack Baron Tapia y monitor Marco Gerardo Salazar por las oportunidades que me brindaron dentro del grupo de buceo, así como las enseñanzas que me han servido en la vida de forma práctica.

A mis compañeros de laboratorio (CNCR) Sergio A. Benítez, Fabiola, Viri, Ia Atzimba, Adonis, Mafer, Sandra. Eduardo Torres, por su apoyo, Brenda y alma por su amistad, especialmente a Raquel quien se tomó el tiempo de comentar y ayudarme con las graficas y estadísticos. A Juan Carlos por compartirme sus ideas y debatir las mías, Erick Moreno por todas las pequeñas enseñanzas que hacen de un trabajo excelente, por su amistad y apoyo incondicional. A Betel por su gran disposición y pasión para enseñar y compartir su conocimiento y a Monserrat por su gran apoyo y amistad, por siempre escucharme y compartir conmigo.

A mis instructores de buceo técnico, con aprecio les agradezco de forma especial a Bruno Espinosa y Arturo Mora quienes con su paciencia me han enseñado del buceo las posibilidades como herramienta, pero también de la filosofía de este como un estilo de vida. A mis compañeros buzos Rogelio, Mónica, Emilio, Sergio, Lievano, Osiel, Gustavo T, y Oliver quienes siempre están

abiertos a cualquier conversación y que me enseñaron a formar un propio criterio. A Efraín Chávez quien aporta de su conocimiento y amistad para enriquecer la investigación

A todos los profesores de todos los niveles, que me transmitieron pasión para jamás darme por vencida: Angel García, Alejandro Pérez, Julio Rubio y Lev O. Jardón, Josué Orlando R, Jorge Guillen, Ivan Castellanos, Ricardo Mariño y Rogelio Aguilar, Sandra y Sigfrido, Jorge Luís Zepeda, Enriique Scheinvar G, María del Carmen Miñana, Marilú Espinosa y José Luís Bortolini.

A todos mis amigos de la facultad: Cosmo, Karen, Alondra, Sheila, Andrés Pérez S, Lupita Roldan (uva), Ceci Campuzano, Emiliano Arrollo, Hoper y Luis Jaramillo por hacer de la vida dentro de las instalaciones mucho más placentera y agradable. A mis amigos de la vida que siempre han estado a mi lado sin importar las circunstancias: Julio Cesar Vega, Tomy, Arturo (Burbuja), Ady Basurto, Tanya, Joaquín Villafuerte, Julio Cesar Sánchez y Rodrigo Campos.

A los grandes amigos que me ha dejado el destino: Citlali Calderón, Igrayne, Tania Mena, Omar Oliverios, David Lozano Alberto G, Alejandro Delgado y Brianda que siempre alientan y comparten la felicidad de otros como si fuese suya. A mis amigos que siempre me demuestran que la bondad y las buenas acciones aun existen: Javier Miranda, Sofía Pelaez, Paola J. Guillen, Alejandro Monterrosas, Ricardo Carreon, Alejandra Nava, Alejandro Meza, Alejandro Cervantes, Juan David, Carlos Chávez, Ernesto (Meri), Sayuri y Juan A. Aguilar.

Finalmente a mis tíos Chávez-García Malo, especialmente a mi tía Ana Luisa por estar siempre al pendiente y en los momentos difíciles, a mi primo Miguel Chávez por sus múltiples palabras de aliento, a Sebastián y Diego crespillo por ser como mis hermanos. A mi padrino Eduardo Guzmán por siempre estar al pendiente de mis avances académicos. Especialmente agradezco a los integrantes de la familia que escogí: Nelia Luviano y Sylvain, Esther Scheinvar, Cristina Díaz, Giovana Díaz, Alejandra Codorniu, y Vanesa García, quienes sin importar la distancia y las situaciones, nos vincula el cariño y el destino.

Índice

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
Zooplankton	2
Diversidad y abundancia	3
Cuevas y cenotes.....	4
Formación de cenotes en la PY	4
Clasificación de cenotes.....	5
Fauna asociada.....	7
JUSTIFICACIÓN	8
ANTECEDENTES	8
HIPÓTESIS	10
ÁREA DE ESTUDIO	11
La península de Yucatán	11
<i>Sistema Ox Bel Ha</i>	12
MATERIAL Y MÉTODO.....	15
Obtención de muestras en campo.....	15
Procesos en laboratorio	16
RESULTADOS	17
Listado faunístico.....	18
Phylum Foraminifera D'Orbigny, 1826.....	18
Phylum Rotifera Cuvier, 1817.....	18
Phylum Arthropoda	18
Phylum Mollusca Linnaeus, 1758	28

Factores físico-químicos	33
<i>Promedio general</i>	33
<i>Datos promedio por capa de agua</i>	34
<i>Capas de agua por cenote</i>	34
<i>Datos máximos y mínimos en las temporadas de muestreo</i>	36
Abundancia	40
Relación de factores físico-químicos con respecto a la abundancia de individuos	42
Diversidad	42
DISCUSIÓN	49
Factores físico-químicos	49
<i>Estratificación de la columna de agua</i>	49
Abundancia	51
Diversidad	53
Listado faunístico	53
CONCLUSIONES	54
LITERATURA CITADA	56

RESUMEN

Los sistemas anquihalinos son ecosistemas sumamente complejos, debido a su geología, formación y la gran cantidad de interacciones abióticas con las que cuentan. Se caracterizan por ser una red de conductos subterráneos inundados con presencia de agua marina y dulce, las cuales no llegan a mezclarse por diferencia de salinidad y densidad, formando una separación evidente llamada haloclina. Esto se refleja en los organismos que habitan dichos sistemas y que cuentan con un alto endemismo. En México los sistemas anquihalinos se presentan en gran parte de la Península de Yucatán, abarcando la costa y extendiéndose tierra adentro. Este estudio describe la composición del zooplancton de uno de estos sistemas, analizando la diversidad y abundancia de tres capas de agua definidas para cuatro cenotes dentro del Sistema Ox Bel Ha, el cual es el segundo más grande del mundo y presenta características contrastantes entre las diferentes secciones que lo componen. Para este estudio se seleccionó un ramal del sistema donde se eligieron cuatro cenotes y se tomó en cuenta la distancia de la línea de costa a la que se encontraban. Las colectas se realizaron con ayuda de una red de plancton de 300 micras de abertura de malla, con la que se elaboraron arrastres y se tomaron datos físico-químicos con un Hydrolab (DS5). Los muestreos fueron durante un año en tres temporadas distintas, para las capas de agua definidas como: superficial, capa de agua dulce (arriba de la haloclina) y capa de agua salada (debajo de la halocina). Los arrastres que se realizaron fueron de forma manual, en la capa superficial únicamente se utilizó la red y una cuerda, abarcando la periferia de cada cenote, mientras que para los arrastres de las capas subsecuentes se requirió la intervención de espeleobuzos, los cuales pudieron acceder por medio de los cenotes hacia las galerías inundadas. Los datos faunísticos obtenidos muestran la presencia de los Phyla: Arthropoda, Rotifera, Foraminifera y Mollusca. Los datos físico-químicos obtenidos fueron: profundidad, temperatura, pH, salinidad y Oxígeno disuelto, y se analizaron de forma independiente para cada capa de agua relacionándolos con la abundancia y diversidad de organismos de las mismas. Los resultados mostraron que las características ambientales influyen en la delimitación de las capas de agua que se definieron previamente, esto es principalmente por profundidad y salinidad. La capa de agua superficial presenta una baja salinidad con respecto a las otras, por lo que se observaron principalmente organismos dulceacuícolas, esta capa es considerada también como alberca o caverna y se encuentra influenciada por luz solar, por lo que algunos de los organismos están relacionados con la productividad primaria, a diferencia de las otras capas que se encuentran en obscuridad absoluta. En la capa de agua dulce se observó que tiende a ser salobre con un gradiente marcado, mientras que la capa más profunda mantiene características estrictamente marinas, esta diferencia de salinidad y luz solar afecta directamente la diversidad de organismos. En cuanto a la abundancia, se observó que los cenotes que se encuentran en la parte intermedia del ramal fueron los que presentaron una mayor abundancia en comparación de los que se ubican a los extremos; viceversa de la diversidad. El Phylum más significativo fue Arthropoda debido a su alta diversidad y abundancia, así como los nuevos registros y nuevas especies que se obtuvieron.

INTRODUCCIÓN

El plancton se define como la comunidad que vive suspendida en la columna de agua. Se caracteriza por su pequeño tamaño el cual puede medir desde algunos milímetros (microplancton), hasta centímetros (macroplancton), por lo que se encuentran incapacitados para contrarrestar la fuerza de las corrientes, quedando a la deriva (González, 1988).

En los ambientes acuáticos, esta comunidad constituye la unidad básica de producción orgánica, lo cual hace que sea fundamental en la cadena trófica para peces y macroinvertebrados. Se caracteriza por ser un conjunto de organismos entre los que se encuentran algas y animales en sus distintos estadios de vida. El plancton se clasifica principalmente en fitoplancton y zooplancton. Este último puede estar conformado por protozoos, rotíferos y crustáceos. En aguas continentales es común encontrar, larvas de insectos tales como odonatos, hemípteros, dípteros, coleópteros, entre otros (Roldán y Ramírez, 1992).

Otra clasificación que se asigna, va de acuerdo a la etapa dentro del ciclo de vida en que los organismos pertenecen a la columna de agua; lo cual significa que se pueden encontrar individuos que ocupan dicha columna durante toda su vida (holoplancton o euplancton), o algunos que únicamente se encuentran dentro de esta comunidad durante su etapa larval y/o crecimiento (meroplancton), y también se pueden encontrar aquellos que llegaron de forma accidental y que pueden formar parte del bentos. En el caso de aguas epicontinentales se pueden encontrar algunos organismos que se asocian al suelo o caen del dosel de los árboles (pseudoplancton) (González, 1988).

Zooplancton

A diferencia del fitoplancton el cual se compone únicamente de organismos autótrofos, el zooplancton se constituye por una gran diversidad de organismos heterótrofos (Moya *et al.*, 2006). Como ya se mencionó se transportan de forma pasiva a través de las corrientes, presentando variaciones espaciales y temporales, lo cual se ve reflejado en su composición y biomasa (Navarro *et al.*, 2002).

La clasificación toma en cuenta: forma, tamaño, afinidad ecológica, ciclo de vida, talla e incluso distribución batimétrica; esta última se refiere a la migración vertical dentro de la columna de agua, esto relacionado a la búsqueda de las mejores condiciones de luz y temperatura, ya sea para obtención de alimento y/o su reproducción, estas migraciones pueden tener un ciclo nictimeral, lo cual quiere decir que ascienden en la noche y descienden durante el día, o viceversa (Gasca-Suárez, 1996).

Las comunidades zooplanctónicas dulceacuícolas están constituidas esencialmente por los Phyla Foraminifera, Rotifera y Flagelata. Los rotíferos son uno de los taxa más importantes en la cadena trófica pelágica ya que son un eslabón entre el fitoplancton y los consumidores secundarios, ya que pueden transferir materia y energía desde bacterias y partículas detríticas de pequeño tamaño, destacando que la depredación para los rotíferos es baja. Los crustáceos planctónicos son principalmente copépodos y pueden presentarse tanto en aguas marinas como dulceacuícolas (Conde-Porcuna *et al.*, 2004).

En cuanto a los artrópodos que habitan aguas epicontinentales existen tres subfilos representantes, los cuales son: Chelicerata (ácaros y arañas acuáticas), Unirramia (insectos acuáticos y colémbolos) y Crustacea (cangrejos, copépodos, anfípodos, etc.). Todos estos son muy diversos y ocupan una gran variedad de nichos, tanto en hábitats bentónicos como pelágicos y en ecosistemas acuáticos, temporales y permanentes. Los ácaros juegan un papel muy importante como predadores, ectoparásitos y presas. Los insectos ocupan el agua dulce en todos sus hábitats y todo tipo de nichos, la mayoría de las especies pasan la mayor parte de su vida como larvas abandonando el medio acuático únicamente para reproducción, se encuentran en grandes densidades y diversidades; Existen 10 órdenes que contienen insectos acuáticos, de los cuales cinco son acuáticos: Ephemeroptera, Plecoptera, Odonata, Trichoptera y Megaloptera. Los otros cinco ordenes son parcialmente acuáticos: Hephemeroptera, Coleoptera, Diptera, Lepidoptera y Neuroptera. Los colémbolos se consideran animales semiacuáticos, asociados principalmente a hábitats lénticos. Los crustáceos son el subfilo más diverso y abundante ocupando muchos nichos alimenticios, muchos de ellos son omnívoros y las clases que más destacan son: Branchipoda, Maxillipoda, Ostracoda y Malacostraca (Pujante-Mora, 1997).

Diversidad y abundancia

Definir la Diversidad biológica, ha sido objeto de varios debates, debido a los aspectos biológicos que involucra, sin embargo se tomará la definición aportada por Magurran (2004), la cual menciona que es la medida de la variedad y abundancia de especies en una unidad de estudio definida, la cual no imposibilita medir la información filogenética involucrada, y que en todo caso debe ponderarse por la riqueza de especies, también incluye abundancias porque es de importancia significativa, ya que esta, se encuentra implícita en la estimación de riqueza de especies.

La diversidad de especies se representa en distintas formas, siendo la más común por medio de catálogos o del registro del número total de especies (riqueza específica) (Magurran, 2004). La diversidad biológica mide la variabilidad entre organismos vivos de todas las fuentes, incluyendo terrestres y marinos, tomando en cuenta la diversidad de especies entre comunidades. Existen tres términos dentro de diversidad que se refieren a distintos aspectos, estos son: Diversidad genética (diversidad de especies), Diversidad de especies (número de especies) y Diversidad ecológica (diversidad de comunidad) (Magurran, 2004).

Los índices de diversidad, son la forma más sencilla de medir biodiversidad, los más comunes son Shannon-Wiener y Simpson, estos se basan en la unión matemática y la abundancia relativa (Magurran 2004, Moreno, 2001). Para estos índices la riqueza específica es la forma ideal de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes sin tomar el valor de importancia de estas. Los inventarios completos permiten conocer el número total de especies censadas dentro de una comunidad, sin embargo esto es posible únicamente para los taxa bien conocidos y de manera puntual en tiempo y espacio; por lo que la mayoría de los índices recorridos son obtenidos a partir de muestreos en una comunidad (Moreno, 2001).

Estos índices incorporan en un solo valor la riqueza específica y la equitatividad, esto puede provocar que el índice aislado no permite conocer la importancia relativa de sus componentes (riqueza y equitatividad). Dentro de los índices antes mencionados podemos encontrar los que son de dominancia como Simpson y que se basa en la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies. Los índices de equidad, como Simpson y Shannon-Weinner los cuales muestran la uniformidad de los valores de importancia de todas las especies de la muestra, midiendo el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar en una colección determinada, asumiendo que todas las especies están representadas en la muestra (Moreno, 2001).

Cuevas y cenotes

Las cuevas que existen en México se dividen en dos tipos principales: las de origen volcánico y que se formaron durante el escurrimiento de lava, y las de origen kárstico que se formaron a partir de la disolución de rocas calizas y que fue por medio del agua a lo largo de las fracturas. Esta disolución dio origen a la formación de canales de drenaje y conductos subterráneos (Mejía, 2008). Dentro de las cuevas de origen kárstico se encuentran las cuevas anquihalinas, término que viene del latín *anchi-cercano* y *halos-mar*. Según Bishop *et al.* (2015) un sistema anquihalino es un estuario subterráneo influenciado por mareas y una mezcla turbulenta de agua meteórica y agua marina a la cual se le denomina haloclina. Este estuario se encuentra en terrenos kársticos y volcánicos los cuales se extienden hacia el interior del continente soportando un conjunto diverso de especies con características estigobíticas. Los ambientes anquihalinos se pueden encontrar en muchas localidades en el mundo tales como: algunas islas y regiones costeras que se encuentran cerca del mar Caribe, Pacífico, islas Galápagos, Hawaii, islas del Pacífico Sur y Japón, Atlántico, Bermuda, islas Canarias, Italia y Yugoslavia (Alvarez y Iliffe, 2008).

Formación de cenotes en la PY

En México los cenotes se ubican principalmente hacia el norte de la PY (Torres *et al.*, 2011). El término "cenote" proviene del Maya "tz'onot", que significa abismo o pozo (Eggebrecht *et al.*, 2001), se forman a partir del derrumbe del techo de una o más cuevas y la acumulación tanto de agua subterránea como de lluvia. El proceso de formación de un cenote se resume en colapso del techo de algún ducto subterráneo (Fig. 1B), pasando por el cenote maduro (Fig. 1C) y hasta la sequía del mismo (Fig. 1D). De acuerdo a estas características los cenotes se dividen principalmente en cerrados o abiertos. Entonces podemos encontrar los que cuentan con entradas que conducen a cuevas subacuáticas y los que parecieran una gran piscina. También los hay lénticos, lóticos y las cuevas anquihalinas (Torres *et al.*, 2011).

Debido a que la PY cuenta con un drenaje incipiente, no existe agua superficial que fluya hacia alguna desembocadura, por lo tanto es alojada en cuerpos de agua superficiales o aguadas, provocando que el agua pluvial sature el terreno, colmando el bajo relieve e infiltrándose en el subsuelo, lo que da origen a corrientes subterráneas en sistemas cavernosos complejos. La disolución de las rocas puede desarrollarse en la superficie del

terreno y afectar a los materiales calcáreos expuestos a la atmósfera, o bien afectar a los mantos subsuperficiales. Este proceso se expresa por medio de depresiones y salientes de superficies rugosas, así como en cavidades y conductos tubulares que llegan a traspasar los fragmentos rocosos (Bautista y Zúñiga, 2005).

La gran disolución con la que cuenta la PY consta de tres procesos principales los cuales son: 1) la alta acidificación de agua de lluvia y la absorción de CO₂ de la atmósfera, forman ácido carbónico, el cual es absorbido en mayor cantidad por la lluvia haciendo que los suelos se acidifiquen; 2) la presencia de agua salada y dulce produce una interface llamada haloclina, donde se vuelve más agresiva la acidificación sobre la roca y 3) la disolución mediada biológicamente que puede ocurrir en el suelo o dentro del sistema de flujo subterráneo, donde el ácido sulfhídrico (H₂S) se genera por la descomposición microbiana de materia orgánica y disuelve la roca desde la masa de agua. Debido a esto, se podría decir que los cenotes cuentan con los siguientes mecanismos específicos: 1) filtración de agua superficial, 2) circulación de agua interna, 3) actividad microbiana y 4) presencia de haloclina (Schmitter-Soto *et al.*, 2002; Botello, 2007).

Tomando en cuenta los procesos antes mencionados y la geología de la PY la formación de grutas y cenotes parte de un sistema de circulación horizontal (cueva inundada), donde se puede formar un cenote tipo cántaro por derrumbe o hundimiento parcial del techo. Debido a los mecanismos específicos de los cenotes el proceso avanza desde arriba, por filtración de lluvia, y desde abajo por circulación subterránea. Posteriormente, la totalidad del techo se derrumba dando lugar a un cenote cilíndrico; del cual se puede generar un cenote tipo aguada por azolve y por hundimiento lento de la zona adyacente (Beddows *et al.*, 2002).

Clasificación de cenotes

Una primera clasificación se relaciona con la cantidad de luz que incide sobre el cuerpo de agua. **Abiertos** son aquellos que presentan una mayor incidencia la cual puede ser totalmente sobre la alberca o superficie del cenote; **semicerrados**, son aquellos en donde solo una parte del espejo de agua se encuentra expuesta a la luz solar, y **cerrados** cuando se encuentran totalmente aislados de la luz solar.

Según Hall (1936) la clasificación de los cenotes está basada principalmente en la disposición de paredes, entradas y la forma que presentan (Fig. 2); y define cuatro tipos.

1) Cenotes tipo cueva o caverna, en donde el techo no se encuentra derrumbado, pero cuentan con entradas laterales y suelen ser los más jóvenes. 2) Forma de cántaro, los cuales cuentan con una abertura superior y diámetro creciente hacia la superficie del agua, el techo derrumbado se puede encontrar al centro. 3) Cenotes abiertos o de paredes verticales, en forma de vaso y con una abertura grande. 4) Tipo aguada, cuenta con grandes cavidades, el agua puede ser fangosa y puede conducir a charcas someras; el nivel del agua puede cambiar de acuerdo a la estacionalidad (lluvias o secas).



Figura 1. Formación de cenotes: A) ducto subterráneo, B) colapso del techo, C) cenote maduro, D) cenote seco.

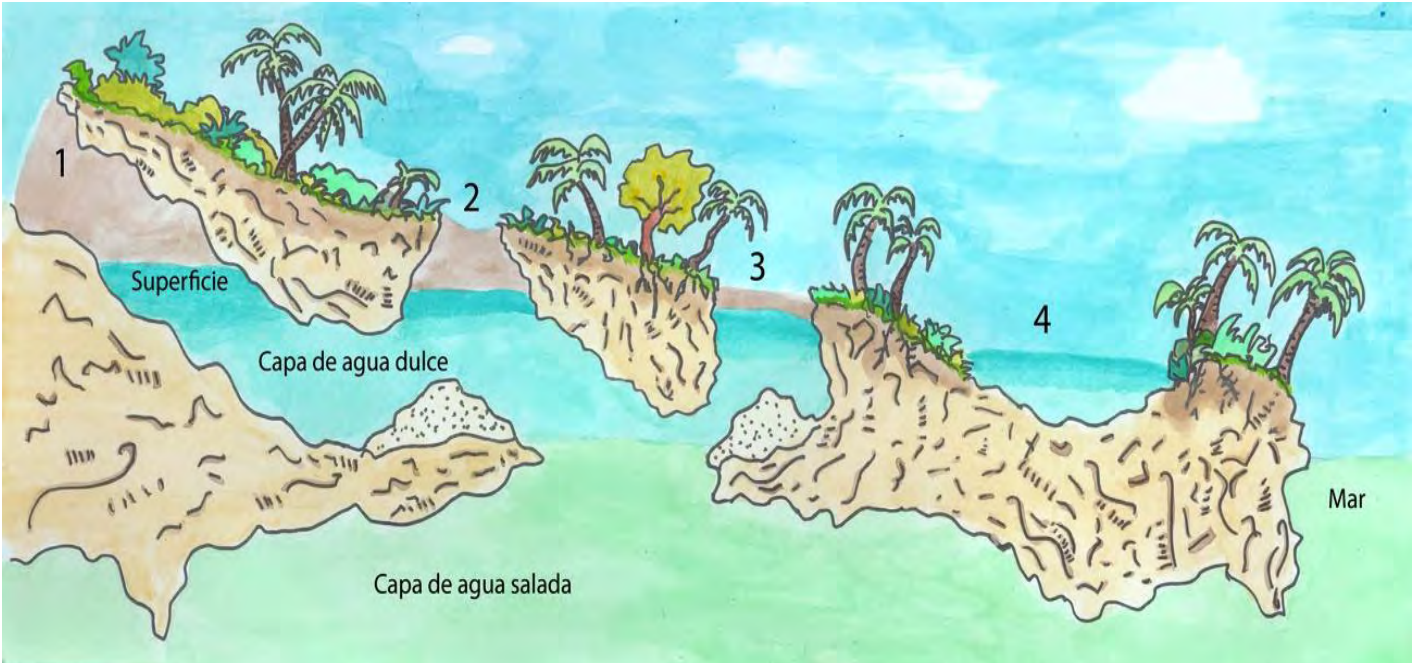


Figura 2. Clasificación de cenotes, según Hall (1938).

Fauna asociada

La fauna asociada a cenotes se define como anquihalina y su distribución en la red subterránea está influenciada por eventos geológicos, tales como las fallas que se encuentran en la PY. Para una buena distinción del grado de adaptación que pueden presentar los organismos asociados a cuevas inundadas se han establecido algunos términos que han ayudado a clasificar a los organismos de acuerdo a las adaptaciones que presentan y su motilidad dentro del medio cavernícola. **Estigobios**, son organismos con alta especialización que ocupan el interior del medio cavernícola durante todo su ciclo de vida. **Estigófilo**, son aquellos organismos que se pueden encontrar tanto fuera como dentro del sistema cavernícola, y que no presentan adaptaciones evidentes a este. **Estigoxeno**, son organismos que son de incidencia ocasional en el medio cavernícola (Alvarez *et al.*, 2008).

Debido a las condiciones físicas del ambiente y al aparente aislamiento de estos sistemas, podemos encontrar una alta especialización que se ve reflejada en endemismos dentro de estos sistemas. Una condición común es la ausencia de luz, la cual ha generado que los organismos tengan una regresión ocular, así como hipertrofia en órganos sensoriales. Por otro lado, también se pueden encontrar organismos con apéndices que tienden a ser largos y numerosos, un gran desarrollo de los receptores sensoriales y químicos que les ayudan a detectar con mayor eficacia a sus presas o indicios de alimento. Las dietas de los invertebrados anquihalinos generalmente son polífagas, no especializadas, debido a la escasez de alimento. En combinación con la dieta se infiere que debe haber una gran eficiencia en el aprovechamiento del alimento y en la transferencia de energía y resistencia a la inanición (Benítez, 2014).

Álvarez y Iliffe (2008), compilaron un inventario de los organismos asociados a los sistemas anquihalinos de Yucatán, en el cual incluyen 43 especies de crustáceos, de los cuales al menos 10 son copépodos, cuatro isópodos, tres decápodos, un ostrácodo y una perteneciente a los misidáceos. Desde entonces se ha descrito una gama más amplia de organismos, como son: una nueva especie de estrella marina en Cozumel (Alonso y Laguarda, 2010), poliquetos de las familias: Paraonidae, Capitellidae, Nereidae, Dorvilleidae y Syllidae (Fontana y Solís, 2011), un nuevo remipedio *Xibalbanus fuchscockburni*, entre otros (Neiber *et al.*, 2012).

JUSTIFICACIÓN

Debido al alto impacto ambiental que presenta la PY por el turismo y a su particular geología, alberga una gran diversidad de taxa únicos, especializados y adaptados a la vida subterránea, dentro de los cenotes y sistemas anquihalinos, es por ello que se necesita reconocer y documentar la gran importancia biológica que albergan estos sistemas en toda su extensión territorial. Los resultados de esta tesis representan un avance en la búsqueda de la relación entre parámetros fisicoquímicos tales como: profundidad, pH, oxígeno disuelto. Salinidad y presencia de luz solar con respecto de la abundancia y diversidad del zooplancton ya que es parte fundamental de las cadenas tróficas acuáticas.

La aproximación metodológica hace a este estudio pionero para la biología e investigación de los cenotes, ya que muestra información sobre los cambios de factores abióticos a lo largo de los sistemas anquihalinos y sus cenotes asociados.

La observación y análisis de la diversidad y abundancia de organismos podrán brindarnos información de las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua. Debido a su aislamiento, estos habitantes de las cuevas cuentan con adaptaciones específicas, que se reflejan en una alta sensibilidad a los cambios o deterioro del ecosistema. También podrá servir para la caracterización por medio de organismos, de las zonas donde hay presencia de sistemas cavernosos.

ANTECEDENTES

El limitado conocimiento que se tiene acerca del funcionamiento de los sistemas anquihalinos ha incitado a diversos científicos a su investigación y a la aportación de evidencias en el comportamiento de cada sistema, se han realizado diversos estudios que parten desde la geología e hidrología, abarcando la ecología y aspectos biológicos.

Los primeros estudios se realizaron en 1932 y 1936 los cuales fueron dirigidos a fauna asociada a cenotes, este primer intento de estudio fue realizado por la Carnegie Institution de Washington, donde algunos investigadores realizaron una colecta de 306 especies terrestres y acuáticas de distintas grutas dentro de la PY, de las cuales se consideraron 28 especies como troglobias.

Creaser (1932), publicó un reporte general de los crustáceos colectados en la PY, con un apartado de la fauna de cenotes incluyendo las clases Cirripedia y Malacostraca, y los órdenes: Isopoda, Amphipoda, Mysidacea y Decapoda.

Hall (1936) realizó un estudio donde se analizaron factores físicos y químicos de cinco cenotes distintos, las observaciones mostraron una temperatura promedio de 25.45 °C en la superficie y en capas más profundas observó una variación de hasta 5 °C, por otra parte se percató de la existencia de cambios en la concentración de oxígeno disuelto y la presencia de ácido sulfhídrico en algunos cenotes.

Posteriormente biólogos de la Texas Tech University entre 1973 a 1975 incrementaron el registro de especies a 565 al realizar un estudio sistemático, de las cuales se catalogaron a 11 de estas como troglobias y 23 terrestres dentro de las diversas grutas de la península de Yucatán (Ilfie, 1993).

Reddell (1977), observó la distribución de los organismos troglobios, registrando algunas especies acuáticas como: *Antrornysis cenotensis*, *Typhlatya mitchelli*, y dos especies de peces ciegos *Ogilbia pearsei* y *Ophisternon infernale*. Estas especies se pueden distribuir dentro una gran área, mientras que *Creaseriella anops*, se presentó únicamente en la sierra de Ticul; *Mayaweckelia cenoticola*, *T. pearsei* y *T. morleyi*, entre otros, solo se mostraron presentes en lugares específicos como en la sierra de Bolonchén. Se concluyó que los patrones de distribución podrían reflejar la invasión en diferentes épocas, la movilidad de las especies o una evolución más lenta. Sin embargo, no había evidencias suficientes para especular que una de estas razones fuese la única.

A mediados de los 80's se inicia el desarrollo del espeleobuceo el cual se convierte en una gran herramienta para la contribución en el estudio de los cenotes y la documentación de la fauna anquihalina; así como, la observación de forma detallada y la dinámica de las cuevas. Se obtuvieron organismos como: *Speleonectes tulumensis* (= *Xibalbanus tulumensis*), *Danielopolina mexicana* (= *Humphreysella mexicana*), *Tulumella unidens* y *Tuluweckelia cernua* (Ilfie, 1993).

Suárez-Morales y Riviera-Arriaga (1998), realizaron un trabajo donde se relacionó la fauna acuática de los cenotes y la hidrología de la PY, resumiendo el estado de conocimiento en el que se encontraba la fauna y sus aspectos biogeográficos

Alcocer *et al* (2002), publicaron datos acerca del fitoplancton que se encontró en diferentes cuevas de Quintana Roo, las cuales se eligieron marcando dos transectos perpendiculares a la línea de costa. Discuten la presencia de varias capas de agua; superficial, fondo y arriba de la haloclina, cada una con parámetros físicoquímicos diferentes, lo cual hace que exista una estratificación marcada de estas variables que se reflejan en la composición del fitoplancton.

Cervantes *et al.* (2002), realizaron un estudio limnológico y morfométrico de ocho sistemas kársticos en la PY, elaborando mapas batimétricos y con datos de factores físico-químicos, dieron un panorama general de cada uno de los cenotes al relacionar la biomasa de zooplancton obtenido con éstos.

Botello (2007), realizó un estudio de la variación morfológica y genética en el palemónido *Creaseria morleyi*, analizando los genes mitocondriales 16S y COI. Se mostró que al comparar el ancho del caparazón, los machos tuvieron una alometría negativa a diferencia de las hembras las cuales presentaron alometría positiva, denotando un dimorfismo sexual en la especie. Los resultados genéticos revelaron tres linajes, los cuales se notaron debido a las distancias obtenidas en el árbol filogenético y un flujo génico restringido. Atribuyendo la disminución de variación genética a cuellos de botella por los que ha pasado *C. morleyi*.

Álvarez y Ilfíe (2008), realizaron un listado de fauna anquihalina de la PY, donde incluyen la localidad tipo, distribución, tamaño, caracteres morfológicos importantes y datos de su distribución en cenotes, presentando 45 especies, de las cuales 43 son crustáceos y dos son peces. También analizaron la composición de especies y distribución dentro de la PY. Así mismo incluyen una discusión acerca de la evidencia de conectividad presente en estos sistemas anquihalinos.

Santos (2011), elaboró estudios sobre la influencia del zooplancton en redes tróficas de cenotes y humedales en la reserva de Sian Ka'an. En este estudio por medio de isotopos contenidos en los organismos (isotopía estable) concluyó que el zooplancton está en el segundo nivel trófico y se compone principalmente por cladóceros, copépodos, ostrácodos y larvas de insectos.

Benítez (2014), desarrolló un estudio sobre la variación de la estructura y composición de la fauna anquihalina en el sistema Ox Bel Ha, tomando en cuenta la distancia a la que se encuentran los cenotes con respecto a la zona litoral. Donde atribuye que la variabilidad sea efecto a una temporalidad, rasgos geomorfológicos, eventos climáticos y oceanográficos.

Chávez-Solís (2015), estudió procesos etológicos y ecológicos en decápodos estigobios en cenotes de Yucatán. Propone una migración vertical en los organismos, la cual podría llegar a considerarse como nictimeral. Así como la propuesta de ritmos edógenos en los organismos.

Aguilar-Sánchez (2016); realizó una modelación en redes tróficas del Sistema Ox Bel Ha, donde determina que el número de niveles tróficos oscila entre dos y tres diferentes, siendo las especies más importantes *Tullumrla unidens*, *Creaseriella anops* y *Typhlatya* spp

HIPÓTESIS

Debido a la particular geología de los cenotes, así como a la presencia de una haloclina, en estos sistemas se pueden observar tres masas de agua con diferentes características abióticas: a) superficie (alberca del cenote), b) capa de agua dulce (arriba de la haloclina) y c) capa de agua salada (debajo de la haloclina). Así mismo estas capas de agua deberán estar relacionadas con la diversidad y abundancia de organismos zooplanctónicos.

Con respecto a la distribución de las especies pertenecientes a estos cenotes, al marcar un transecto perpendicular a la línea de costa, lo que se espera observar es que las especies dulceacuícolas tengan una mayor distribución en la capa superficial; y que con respecto a la profundidad las especies se reemplacen gradualmente por aquellas que habitan únicamente la cueva verdadera.

Considerando todo lo anterior se plantea como hipótesis de este estudio que: la fauna de los cenotes presentes en las tres masas de agua, será afectada por la ubicación con respecto a la línea de costa, y por las características físico-químicas particulares de cada masa de agua. Se espera que la composición de especies y su abundancia cambie a lo largo del transecto estudiado conforme se avanza tierra adentro y con respecto a la profundidad o capa de agua.

OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es determinar diversidad y abundancia del zooplancton de cuatro cenotes del sistema Ox Bel Ha, Quintana Roo, México.

Los objetivos particulares son:

Realizar un listado faunístico de los organismos que fueron encontrados en el Sistema Ox Bel Ha.

Describir la riqueza de especies por cenote, y por capa de agua (alberca, agua dulce y agua salada).

Realizar una comparación de la abundancia y diversidad de organismos entre las tres capas de agua, considerando la distancia a la costa de cada cenote.

Relacionar factores abióticos con la diversidad y abundancia encontrada en cada cenote, tomando en cuenta las tres capas.

ÁREA DE ESTUDIO

La península de Yucatán

La península de Yucatán (PY) se encuentra en el sureste de México, cuenta con una extensión aproximada de 300,000km². Debido a que es una planicie de piedra caliza tiene un alto contenido de evaporitas y la mayor parte de ésta se encuentra fisurada, porosa y con plantas xerofitas; se sustenta principalmente por rocas carbonatadas que son muy permeables, por lo que presentan una alta erosión y un sistema subterráneo extenso (Alcocer *et al.*, 1999). El clima es tropical húmedo y con una temperatura media de 25 °C, los meses más cálidos son julio y agosto, y los más fríos diciembre y enero. La región cuenta con temporada de secas en los meses de noviembre a abril, una temporada de vientos de marzo a mayo y temporada de lluvias de mayo a octubre (Beddows, 2003). La precipitación media anual en la costa es alrededor de 1,200 mm, con una mayor cantidad en mayo y octubre, debido a su alta filtración, de la cual el 15% pasa a las aguas subterráneas (Villasuso y Méndez Ramos, 2000).

La distribución de organismos anquihalinos en la PY se puede explicar por medio de atributos fisiográficos, los cuales son: la **falla sierra de Ticul**; la cual se compone de tres fallas formadas a partir de actividad tectónica a finales del Mesozoico. Las **fallas de Río Hondo y Holbox**, definen tres cuencas hidrológicas, las cuales hacen que el agua que se encuentra en los cenotes fluya en diferentes direcciones. El **anillo de cenotes** el cual se formó en la roca calcárea a principios del Plioceno y la zona de **fractura del cráter Chicxulub**, donde el flujo de agua va en dirección noroeste (Fig. 3; Botello, 2007).

El sistema Ox Bel Ha (tres caminos de agua) cuenta con 270 km de extensión y el sistema Sac Actun (la cueva blanca) cuenta con 253 km de extensión (Quintana Roo Speleological Survey, 2016). Muchos cenotes aparentan no tener ninguna asociación con los conductos de las cuevas aledañas. Sin embargo, existen estudios que han monitoreado

los sistemas y que revelan que el flujo en estos conductos y los pozos o piscinas tienen una gran influencia no solo entre ellos, sino que también la velocidad del agua dulce y salada está modulada por la fluctuación de mareas, dando periodos de solución salina desacoplados (Sánchez *et al.*, 2002). Actualmente se ha demostrado que los sistemas Ox Bel Ha (SOBH) y Sac Actun se encuentran intercomunicados entre sí e incluso con un tercero que es el sistema Dos Ojos.

Sistema Ox Bel Ha

Ox Bel Ha (SOBH) es el sistema de cuevas inundadas más largo de México (Fig. 4A) se ubica hacia el sureste, dentro de la antigua ciudad de Tulum, en la costa del mar Caribe, dentro de la autopista 307, cuenta con 260 km de longitud, una profundidad promedio de 33.5 m y a partir de los 13 m es posible notar una haloclina (Fig. 4C), la cual se va haciendo somera cerca de la línea de costa. Comienza en el mar Caribe con un desarrollo horizontal hacia el interior del continente, pasando por debajo de mangles, selva de matorral bajo y praderas de sabana (Benítez, 2014).

El transecto que se decidió explorar (Fig. 4B), se encuentra al noroeste del SOBH, donde se eligieron cuatro cenotes: Na'ach Wennen Ha, Odyssey, Muknal y Bang, estos son el acceso a las galerías subterráneas. En la Tabla 1 se muestran las coordenadas geográficas y la distancia a la que se encuentra cada uno con respecto a la línea de costa.

Na'ach Wennen Ha con 0.86 km de la línea de costa es el cenote más cercano al mar, es de tipo abierto donde la capa superficial de agua se ve como una alberca somera asociada a mangle rojo y la entrada a la cueva es por una de las paredes inundadas, de forma lateral. El cenote Odyssey se ubica a 3.17 km de la costa, es de tipo caverna con entrada lateral, la capa superficial es profunda y la entrada a la cueva está un tanto aislada de la superficie, en la bóveda que sirve de techo habitan murciélagos. Muknal se encuentra a 6.74 km de la línea de costa, este cenote es de tipo abierto, la capa superficial es más o menos profunda, asociada a mangle rojo y la entrada a la cueva se encuentra en una de las paredes laterales inundadas. Bang es el cenote más alejado de la costa, se encuentra ubicado a 10.17 km de esta, este cenote es abierto, con una capa superficial o alberca más profunda a comparación de los otros cenotes y la entrada a la cueva es una prolongación de la alberca.

Tabla 1. Distancia a la que se encuentra cada cenote del SOBH estudiado a partir de la línea de costa y coordenadas geográficas.

Cenote	Distancia hacia el continente	Coordenadas geográficas
Na'ach Wennen Ha	0.86 km	20° 10'08''N, 87° 27'22'' W
Odyssey	3.17 km	20° 10'24''N, 87° 28'14'' W
Muknal	6.74 km	20° 11'18''N, 87°29'24'' W
Bang	10.17 km	20°12'37'' N, 87°30'4.0'' W



Figura 3. Disposición de las fallas dentro de la Península de Yucatán (Tomado y modificado de Beddows *et al.*, 2007).

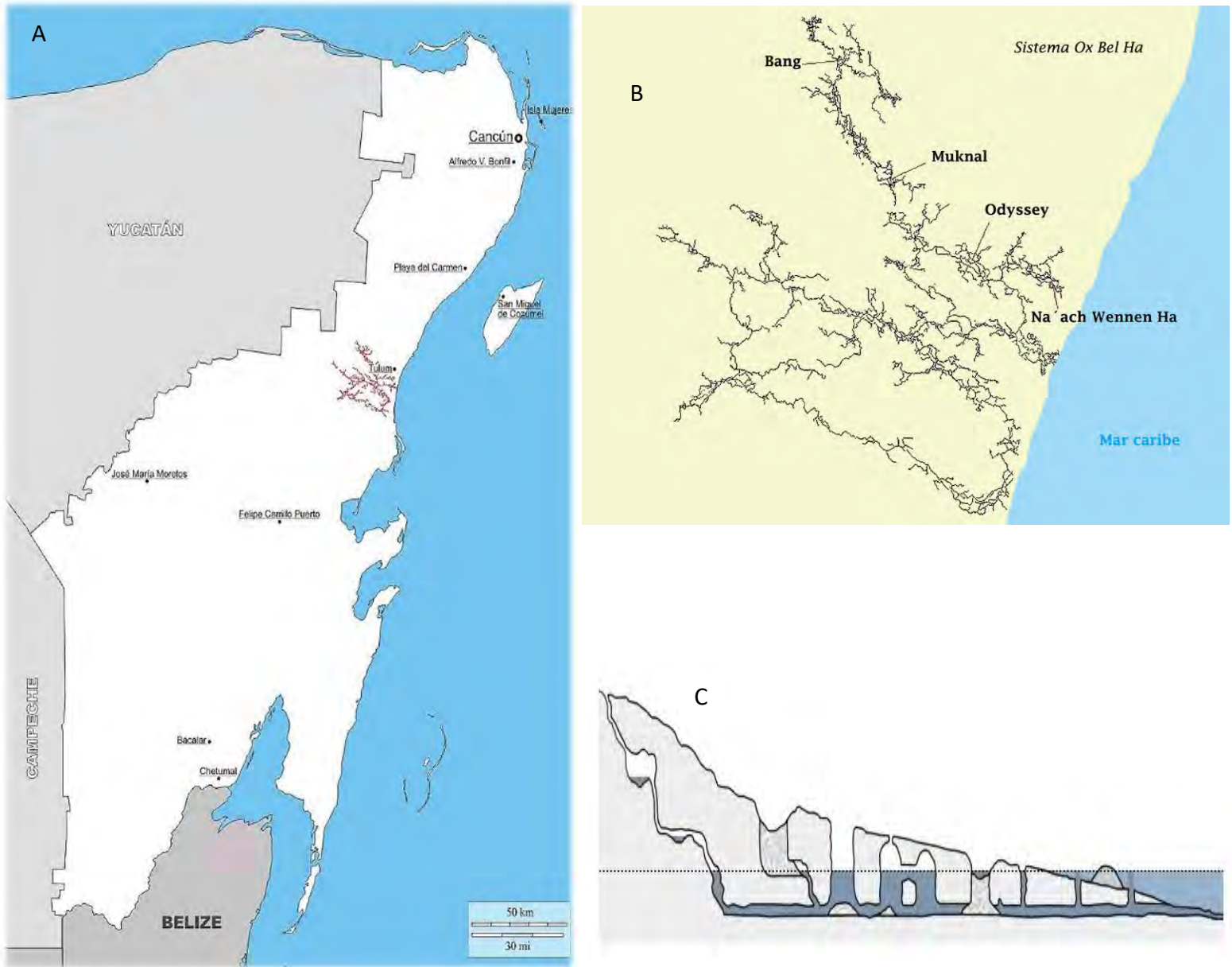


Figura 4. Área de estudio. A) División geográfica de la península de Yucatán, mostrando el SOBH. B) Transecto elegido para el estudio dentro del SOBH, se muestran los cuatro puntos de muestreo. C) Representación de la haloclina a lo largo del sistema, donde se observa el cambio de profundidad, o desacoplamiento de la haloclina a través de las capas de agua.

MATERIAL Y MÉTODO

Obtención de muestras en campo

Se realizaron tres muestreos para la obtención de zooplancton, a lo largo del año 2013, con el fin de poder observar la variación de organismos en diferentes temporadas. Los meses en que se llevó a cabo el muestreo fueron: febrero, agosto y diciembre.

Los cenotes Na'ach Wennen Ha, Odyssey, Muknal y Bang fueron los puntos por los cuales se tuvo acceso al sistema de cuevas inundadas. En cada uno de ellos se realizó la toma de muestras de zooplancton. Se definieron tres capas de agua, siendo estas: la capa superficial del cenote (alberca o parte abierta), capa de agua dulce (por arriba de la haloclina) y capa de agua salada (debajo de la haloclina).

En la parte de la superficie de cada cenote, la colecta se realizó con ayuda de una red de plancton, con una abertura de malla de 300 micras, a la que se le colocó una cuerda de 30 m de largo para poder lanzarla de lado a lado del cenote sin perder la red y tratando de cubrir la periferia del mismo, lo obtenido en el copo de la red se colocó en frascos con alcohol al 85% para fijar la muestra.

La colecta en las dos capas subsecuentes (agua dulce y agua salada), se realizó con la intervención de espeleobuzos, quienes realizaron inmersiones con equipo SCUBA especializado para cuevas y de esta manera se tuvo acceso a las galerías inundadas. Cada integrante del grupo de buzos cubría una tarea específica, dentro de las cuales uno de ellos colocó la red de plancton dentro de su configuración de buceo y durante el transcurso de la inmersión este evaluaba un lugar lo suficientemente amplio para abrir la red y de forma manual realizaba movimientos en zigzag, una vez obtenida la muestra cerraban la red. Este procedimiento se realizó de la misma manera para la capa de agua dulce que se encuentra arriba de la haloclina, como para la capa de agua salada que se encuentra por debajo de la misma. Al término de la inmersión se colocaba lo obtenido del copo de la red, dentro de frascos con alcohol al 85% para su preservación y transporte.

La toma de datos fisicoquímicos se obtuvo por medio de una sonda multiparámetro (modelo: DS 5X) la cual otro buzo llevaba consigo dentro de su configuración de buceo, el registro de estos datos fueron tomados cada 30 segundos durante toda la inmersión. Los parámetros a considerar fueron: profundidad (mts), temperatura (T°C), pH, salinidad (ppm) y oxígeno disuelto (mg/L) Los cuales fueron monitoreados durante todo el buceo en cada temporada muestreada

Las inmersiones se trataron de hacer con el mismo esfuerzo, esto es con la misma cantidad de buzos y mismo tiempo, sin embargo hubo que considerar la longitud de cada cenote así como, la seguridad de los buzos.

Procesos en laboratorio

Los organismos almacenados y fijados en frascos con alcohol al 85 %, se trasladaron al laboratorio de la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR), del Instituto de Biología de la UNAM. En donde se observaron con ayuda de un microscopio estereoscópico marca Olympus, se separaron los por morfotipos, etiquetándolos con fecha de colecta, cenote explorado y capa de agua; para su posterior identificación, con ayuda de claves especializadas para cada grupo y con la ayuda de expertos en cada uno de estos grupos de organismos.

Claves para la identificación:

Foraminíferos:

Holbourn, A.; A.S. Henderson y N. Macleod; Atlas of Benthic Foraminifera.

Loeblich. A.R. y H. Tappan; Foraminiferal genera and their classification.

Crustáceos:

Suárez-Morales, E., J. W. Reid, T. M. Iliffe y F. Fiers. Catálogo de los copépodos (Crustacea) continentales de la Península de Yucatán.

Reid. J. W y D.L. Strayer, 1994. *Diacyclops dimorphus*, a new species of copepod from Florida, with comments on morphology of interstitial cyclopone cyclopoids.

Suárez-Morales E. & M. Elías-Gutiérrez. On the taxonomical status of *Arctodiaptomus dampfi* Brehm (Crustacea: Copepoda: Diaptomidae) with comments on *A. dorsalis* (Marsh).

Suárez-Morales. E. Historical biogeography and distribution of the freshwater calanoid copepods (Crustacea: Copepoda) of the Yucatan Peninsula, Mexico.

Álvarez. F., y T. Iliffe. Fauna Anquihalina de Yucatán., en Crustáceos de México.

Creaser. E.P. Crustaceans from Yucatan.

Bowman. T., A review of the genus *Antromysis* (Crustacea: Mysida), including new species from Jamaica and Oaxaca, Mexico, and a redescription and new records.

<http://www.tamug.edu/cavebiology/index2.html>

Ácaros

Cook. D.R. 1974. Water mite genera and subgenera.

Cook. D. R. 1980. Studies on neotropical water mites.

Se realizaron gráficas de barras con el programa computacional Excel. Las cuales representan la abundancia de los organismos por taxa que se encontraron en cada cenote. La información obtenida del Hydrolab se descargó en una computadora para poder analizar los parámetros de profundidad, temperatura (T °C), pH, salinidad (ppm) y oxígeno disuelto (mg/L), de los cuales se obtuvieron promedios, valores máximos y mínimos y con el paquete estadístico SPSS 16.0 se elaboró una regresión lineal con los valores de R^2 ; y de esta forma relacionar la abundancia de organismos con los parámetros físico-químicos.

Para los análisis estadísticos se elaboró una base de datos y se realizaron análisis utilizando el programa PRIMER V, para determinar: La riqueza específica, por medio del estimador Jackknife 1, se obtuvieron curvas de acumulación de especie por cenote y por capa de agua. En cuanto a la equidad y diversidad se aplicaron los índices de Shannon-Wiener $H' = \sum p_i \ln p_i$ y Simpson $D' = 1 - \lambda$ (Magurran, 2004 y Moreno, 2001).

Las fotografías de los organismos se tomaron con un microscopio de capas Carl Zeiss AxioZoom V16 de cámara MRC5.

RESULTADOS

Se obtuvo un total de 49 taxa diferentes a lo largo del SOBH, en la (Fig. 5) se muestra una gráfica de barras en la que se observa el número de individuos por grupo, los cuales son: Crustacea, Acari, Hexapoda, Mollusca, Foraminifera y Rotifera.

El número de individuos por grupo mostró que Crustacea fue el más abundante con 1230 individuos, seguido por Hexapoda con 87, Acari con 54, en cuarto lugar se posiciono Mollusca con 43 individuos, Foraminifera en quinto lugar con 13 y por ultimo Rotifera con únicamente con 10 individuos.

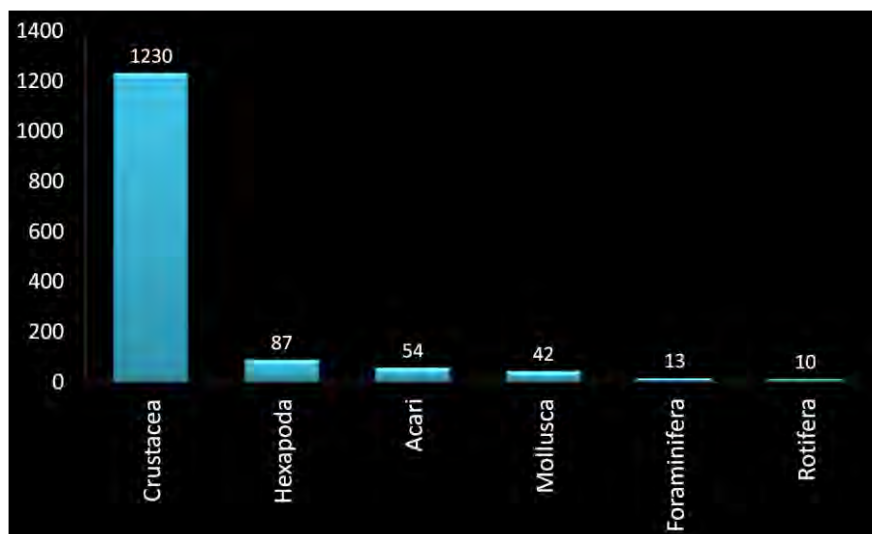


Figura 5. Número de individuos obtenidos por taxones a lo largo del SOBH.

Listado faunístico

En la siguiente lista se colocó taxonómicamente a los organismos encontrados en los muestreos, se hace énfasis en el número de individuos, el cenote del cual se extrajeron y la masa de agua a la que pertenecían.

Phylum Foraminifera D'Orbigny, 1826

Clase Globothalamea (Pawlowski, Holzmann, Tyska, 2013)

Subclase Textulariia (Mikhalevich, 1980)

Orden Textulariida (Mikhalevich, 1980)

Familia Haplophragmoididae (Maync, 1952)

Genero Veleroninoides (Saidova, 1981)

Veleroninoides wiesneri (Parr, 1850)

(Fig. 6F)

Total de individuos: 13

Material examinado: 6 organismos, cenote Bang, superficial; 8/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 2 organismos, cenote Muknal, superficial; 31/julio/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 1 organismo, cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos. 3 organismos, cenote Odyssey, superficial; 26/febrero/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos. 1 organismo, cenote Odyssey, superficial; 2/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos, O. Cortés.

Phylum Rotifera Cuvier, 1817

(Fig. 6G)

Total de individuos: 10

Material examinado: 2 organismos, cenote Bang, superficial; 8/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos, O. Cortés. 3 organismos, cenote Bang, superficial; 5/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J. L. Villalobos. 4 organismos, cenote Muknal, superficial; 31/julio/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 1 organismo, cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J. L. Villalobos.

Phylum Arthropoda

Subphylum Crustacea Brunch, 1772

Clase Remipedia Yager, 1981

Orden Nectipoda (Schram, 1986)

Familia Speleonectidae Yager, 1981

Género *Xibalbanus* Hoenemann, Neiber, Schram y Koenemann, 2013

Xibalbanus tulumensis (Yager, 1987)

(Fig. 8D)

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Odyssey, agua salada; 2/agosto/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. Philips, B. González y T. Winkler.

Clase Branchiopoda Latreille, 1817

Superorden Cladocera Milne-Edwards, 1840

Orden Anomopoda (Sars, 1865)

Familia Daphnidae (Straus, 1820)

Género *Daphnia* Müller, 1785

Total de individuos: 17

Material examinado: 5 organismos, cenote Bang, superficial, 8/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 1 organismo, cenote Muknal, superficial, 31/julio/2013; cols. . S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 4 organismos, cenote Odyssey, superficial; 7/diciembre/2013, cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos. 7 Organismos cenote Odyssey, superficial; 1/agosto/2013, cols. . S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés

Clase Maxillopoda (Dahl, 1956)

Subclase Copepoda (Milne-Edwards, 1840)

Total de individuos: 3

Material examinado: 2 organismos, cenote Na'ach Wennen Ha, superficial; 8/diciembre/2013; cols. . Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos. 1 organismo, cenote Na'ach Wennen Ha, superficial; 3/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés.

Larva nauplio

(Fig. 6H)

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Odyssey, superficial; 7/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Infraclasse Neocopepoda (Huys y Boxshall, 1991)

Superorden Podoplea Giesbrecht, 1882

Orden Cyclopodia Burmeister, 1834

Familia Cyclopidae Rafinesque, 1815

Género *Macrocylops* Claus, 1893

Macrocylops albidus (Jurine, 1820)

Total de individuos: 11

Material examinado: 2 organismos, cenote Bang, superficial; 1/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 8 organismos examinados, cenote Bang superficial; 5/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos. 1 organismo, cenote Odyssey, agua dulce; 7/diciembre/2013; cols. T.M. Iliffe y D. Brankovits.

Superorden Gymnoplea (Giesbrecht, 1882)

Orden Calanoida (Sars, 1903)

Familia Diaptomidae Baird, 1850

Género *Arctodiaptomus* Keifer, 1932

Arctodiaptomus dorsalis (Marsh, 1907)

Total de individuos: 833

Material examinado: 833 organismos, cenote Odyssey, superficial; 8/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés.
Género *Mastigodiptomus* Ligth, 1939

Mastigodiptomus sp.

Total de individuos: 5

Material examinado: 5 organismos, cenote Odyssey, superficial; 7/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Género *Diacyclops* Kiefer, 1927

Diacyclops cf. *dimorphus* Reid y Strayer, 1994

Total de individuos: 11

Material examinado: 4 organismos, cenote Bang, superficial; 8/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 7 organismos, cenote Bang, superficial; 5/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Género *Tropocyclops* Kiefer, 1927

Especie *Tropocyclops prasinus* (Fischer, 1860)

Tropocyclops prasinus aztequiei Lindberg, 1955

Total de individuos: 13

Material examinado: 13 organismos, cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Género *Thermocyclops* Kiefer, 1927

Thermocyclops inversus (Kiefer, 1936)

Total de individuos: 102

Material examinado: 102 organismos, cenote Muknal, superficial; 31/julio/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés.

Clase Malacostraca Latreille, 1802

Subclase Eumalacostraca Grobben, 1892

Superorden Peracarida Calman, 1904

Orden Mysida (Haworth, 1825)

Familia Mysidae Haworth, 1825

Larvas

(Fig. 6E)

Total de individuos: 25

Material examinado: 25 organismos, cenote Odyssey, agua dulce; 7/diciembre/2013; cols. T.M. Iliffe y D. Brankovits.

Subfamilia Mysinae Haworth, 1825

Género *Antromysis* Creaser, 1936

Total de individuos: 135

Material examinado: 2 organismos, cenote Odyssey, superficial; 26/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. Philips y B. González. 3 organismos, cenote Odyssey, agua dulce; 2/agosto/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. González y T. Winkler. 130

organismos adultos, cenote Odyssey, agua dulce; 7/diciembre/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, y T. Winkler.

Antromysis cenotensis Ceaser, 1936

(Fig. 7B)

Total de individuos: 5

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, agua salada; 28/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits y B. Philips. 4 organismos, cenote Bang, agua dulce; 8/agosto/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. González y T. Winkler.

Orden Stygiomysida Tchindonova, 1981

Familia *Stygiomysidae* Caroli, 1937

Género *Stygiomysis* Caroli, 1937

(Fig. 8A, B)

Total de individuos: 2

Material examinado: 1 organismo, cenote Na'ach Wennen Ha, agua dulce; 27/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits y B. Philips. 1 organismo, cenote Bang, agua dulce; 8/agosto/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. González y T. Winkler.

Orden Thermosbaenacea Monod, 1927

Familia Tulumellidae Wagner, 1994

Género *Tulumella* Bowman e Iliffe, 1988

Tulumella unidens Bowman e Ilife, 1988

(Fig. 6D)

Total de individuos: 8

Material examinado: 6 organismos, cenote Bang, agua dulce; 8/agosto/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. Philips, B. González y T. Winkler. 1 organismo, cenote Bang, 1 organismo cenote Odyssey; agua dulce; 5/diciembre/ 2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. Philips y B. González.

Orden Amphipoda Latreille, 1816

Suborden Senticaudata Lowry y Myers, 2013

Superfamilia Hadzioidea Karaman, 1943

Familia Hadziidae Karaman, 1943

Género *Bahadzia* Holsinger, 1985

(Fig. 7D)

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Odyssey, agua dulce; 26/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. Philips, B. González y T. Winkler.

Bahadzia bozanici Holsinger, 1992

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Muknal, agua dulce; 25/febrero/2013; col. T.M. Iliffe.

Género *Tuluweckelia* Holsinger, 1990

Tuluweckelia cernua Holsinger, 1990

(Fig. 7C)

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Na'ach Wennen Ha, agua dulce; 7/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. Philips y B. González.

Género *Mayaweckelia* Holsinger, 1977

Mayaweckelia cenoticola Holsinger, 1977

(Fig. 7A)

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, agua dulce; 8/agosto/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. González y T. Winkler.

Superorden Eucarida Calman, 1904

Orden Decapoda Latreille, 1802

Suborden Pleocyemata Bukenroad, 1963

Infraorden Caridea Dana 1852

Superfamilia Atyoidea De Haan, 1849

Familia Atyidae De Haan, 1849

Género *Typhlatya* Creaser, 1936

(Fig. 8C)

Total de individuos: 3

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, agua salada, 8/agosto/2013; cols T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. González y T. Winkler. 1 organismo, cenote Odyssey, agua dulce; 26/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits y B. Philips. 1 organismo, cenote Odyssey, agua salada; 2/agosto/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. González y T. Winkler.

Typhlatya mitchelli Hobbs y Hobbs, 1976

Total de individuos: 2

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, agua salada; 28/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits y B. Philips. 1 organismo, cenote Na'ach Wennen Ha, agua dulce; 27/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits y B. Philips.

Typhlatya pearsei Creaser, 1936

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Na'ach Wennen Ha, agua dulce; 27/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits y B. Philips.

Typhlatya dzilamensis Alvarez, Iliffe & Villalobos, 2005

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, agua dulce; 8/agosto/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. González y T. Winkler.

Superfamilia Palaemonoidea Rafinesque, 1815

Familia Palaemonidae Rafinesque, 1815

Larvas de Palaemonidae

Total de individuos: 2

Material examinado: 2 organismos, cenote Muknal, agua dulce; 25/febrero/2013; col. T.M. Iliffe.

Clase Ostracoda Latreille, 1802

(Fig. 6A)

Total de individuos: 41

Material examinado: 7 organismos, cenote Bang, superficial; 8/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 1 organismo, cenote Bang, agua dulce; 8/agosto/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits, B. González y T. Winkler. 2 organismos, cenote Bang, superficial; 5/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, y J.L. Villalobos. 10 organismos, cenote Muknal, superficial; 31/julio/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 8 organismos, cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J. L. Villalobos. 3 organismos, cenote, Odyssey, superficial; 26/febrero/2013: cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos. 2 organismos, cenote Odyssey, superficial; 2/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 8 organismos, cenote Na'ach Wennen Ha; superficial 3/agosto/2013; cols S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés.

Subclase Myodocopa G.O. Sars, 1866

Orden Halocyprida Dana, 1853

Suborden Haplocypridina Dana, 1853

Superfamilia Thaumatoocypridoidea Müller, 1906

Familia Thaumatoocyprididae Müller, 1906

Género *Humphreysella* Kornicker y Danielopol, 2006

Humphreysella mexicana (Kornicker y Iliffe, 1989)

(Fig.6B)

Total de individuos: 5

Material examinado: 4 organismos, cenote Bang, agua salada; 28/febrero/2013; cols. T.M. Iliffe, D. Brankovits y B. Philips 1 organismo, cenote Odyssey, agua salada. 1/diciembre/2013, cols T.M. Iliffe y D. Brankovits.

Subphylum Chelicerata

Clase Arachnida Krantz, Walter y Lindquist,

Subclase Acari Leach, 1817

Superorden Acariformes Zakhvatkin, 1952

Orden Trombidiformes Reuter, 1909

Superfamilia Halacaroidea Cunliffe, 1955

Familia Halacaridae Murray, 1877

Subfamilia Limnohalacarinae Viets, 1927

Género *Limnohalacarus* Walter, 1917

Limnohalacarus cultellatus Viets, 1940

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, superficial; 5/diciembre/2013; cols.S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés.

Supercohorta Anystides

Cohorte Parasitengonina

Subcohorta Hydrachnidiae (Kranz, 2009)

Superfamilia Hydrachnoidea Leach, 1815

Familia Hydrachnidae Leach, 1815

Género *Hydrachna* Müller, 1776

Total de individuos: 2

Material examinado: 2 organismos, cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Superfamilia Hygrobatoidea Koch, 1942

Familia Unionicolidae Thor, 1900

(Fig. 9B)

Subfamilia Pionatacinae Viets, 1916

Género *Neumania* Liebert, 1879

(Fig. 9A)

Total de individuos: 3

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, superficial; 1/agosto/2013; cols.S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 1 organismo, cenote Odyssey, superficial; 2/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 1 organismo, cenote Odyssey, superficial; 7/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Familia Limnesiidae Thor, 1900

Género *Centrolimnesia* Lundbland, 1935

Centrolimnesia motasi Cook, 1980

(Fig. E)

Total de individuos: 11

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, superficial; 5/diciembre/2013; cols.S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos. 10 organismos, cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; cols.S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Género *Limnesia* Koch, 1836

(Fig.9D)

Total de individuos: 2

Material examinado: 2 organismos, cenote Bang, superficial; 5/diciembre/2013; cols.S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Superorden Sarcoptiformes Reuter, 1909

Orden Oribatida Dugés, 1833

Infraorden Holosomata Grandjean, 1960

Superfamilia Nothoidea

Familia Nothridae

Total de individuos: 5

Material examinado: 2 organismos, cenote Na'ach Wennen Ha; superficial, 3/agosto/2013; Cols. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 3 organismos, cenote Muknal, superficial, 4/diciembre/2013, Cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos

Familia Oribatulidae

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Na'ach Wennen Ha, superficial, 8/diciembre/2013, Cols. ; Cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Superfamilia Crotonioidea Thorell, 1879

Familia Malaconothridae Berlese, 1916

Género *Malaconothrus* Berlese, 1904

Malaconothrus ca selvaticus Pérez-Iñigo y Baggio, 1985

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Muknal, superficial, 4/diciembre/2013; Cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Género *Trimalaconothrus* Berlese, 1946

Total de individuos: 10

Material examinado: 4 organismos, cenote Bang, superficial; 8/agosto/2013; Cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 4 organismos, cenote Bang, superficial; 5/diciembre/2013; cols.S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos. 2 organismos, cenote Na'ach Wennen Ha, superficial; 3/agosto/2013, cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés.

Trimalaconothrus ca australis Hamer, 1966

Total de individuos: 5

Material examinado: 5 organismos, cenote Odyssey, superficial; 2/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés.

Suborden Brachyplina Hull, 1918
Infraorden Pycnonoticae Grandjean, 1957
Superfamilia Carabodoidea Koch, 1837
Familia Carabodidae Koch, 1837
Género *Carabodes* Koch, 1835

Total de individuos: 2

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, superficial; 1/agosto/2013, cols.S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 1 organismo, cenote Na'ach Wennen Ha, superficial; 8/diciembre/2013, cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Infraorden Poronoticae Grandjean, 1931

Superfamilia Oripodoidea Jacot, 1925

Familia Oripodidae Jacot, 1925
Género *Oripoda* Banks, 1904

Total de individuos: 2

Material examinado: 2 organismo, cenote Muknal, superficial; 31/agosto/2013; cols.S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés.

Superfamilia Galumnoidea Jacot, 1925

Familia Galumnidae Jacot, 1925
Género *Galumna* Heyden, 1826

Total de individuos: 3

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, superficial, 8/agosto/2013; cols S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 1 organismo, cenote Muknal, superficial; 31/julio/2013, cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés. 1 organismo, cenote Muknal superficial

Suborden Enarthronota Grandjean, 1947

Infraorden Euptyctima Grandjean, 1967

Superfamilia Mesoplophoroidea Ewing, 1917

Familia Mesoplophoridae Ewing, 1917

Total de individuos: 2

Material examinado: 2 organismos, cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Superfamilia Hermannielloidea Grandjean, 1954

Familia Niphocephaidae Trave, 1959
Género *Cepheus* Koch, 1833

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Odyssey, superficial; 2/agosto/2013, cols. S. Benítez, F. Álvarez, J.L. Villalobos y O. Cortés.

Superfamilia Acaroidea

Familia Acaridae

Género *Rhyzoglyphus* Berlese, 1921

Rhyzoglyphus sp.

Total de individuos: 2

Material examinado: 2 organismos, cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Superorden Parasitiformes Reuter, 1909

Orden Mesostigmata

Suborden Sejida

Superfamilia Sejoidea

Familia Sejidae

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; Cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

Subphylum Hexapoda Latreille, 1825

Clase Entognatha Lubbock, 1870

Orden Collembola

Total de individuos: 4

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, superficial, 8/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 3 organismos, cenote Bang, superficial; 5/diciembre/2013, cols. S. Benítez, F. Álvarez y J. L. Villalobos.

Clase Insecta Linnaeus, 1758

Subclase Pterygota

Infraclase Neoptera

Superorden Endopterygota Sharp, 1898

Orden Coleoptera Linnaeus, 1758

Larvas Coleoptera.

Total de individuos: 1

Material examinado: 1 organismo, Cenote Bang, superficial; 8/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. Fauna incidental, no fue considerada en los estadísticos.

Orden Diptera

Larvas Diptera

Total de individuos: 82

Material examinado: 5 organismos, cenote Bang, superficial; 8/ agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 4 organismos, cenote Na'ach Wennen Ha, superficial; 3/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 2 organismos, cenote Na'ach Wennen Ha, superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos. 35 organismos, cenote Muknal, superficial; 31/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 21 organismos, cenote Muknal,

superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 15 organismos, cenote Odyssey, superficial; 1/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J. L. Villalobos.

Phylum Mollusca Linnaeus, 1758

Clase Gastropoda Cuvier, 1795

Superfamilia Rissooidea Gray, 1847

Familia Hydrobiidae Stimpson, 1865

Genero *Pyrgophorus* Ancey, 1888

Total de individuos: 42

Material examinado: 1 organismo, cenote Bang, superficial; 28/febrero/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J. L. Villalobos. 4 organismos, cenote Bang, superficial; 8/agosto/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 2 organismos, cenote Bang, superficial, 5/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J. L. Villalobos. 2 organismos cenote Muknal, superficial; 4/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J. L. Villalobos. 30 organismos, cenote Odyssey, superficial; 26/febrero/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J. L. Villalobos. 1 organismo, cenote Odyssey, superficial, 2/agosto/2013; cols.S. Benítez, F. Álvarez, J. L. Villalobos y O. Cortés. 2 organismos, cenote Odyssey, superficial; 7/diciembre/2013; cols. S. Benítez, F. Álvarez y J.L. Villalobos.

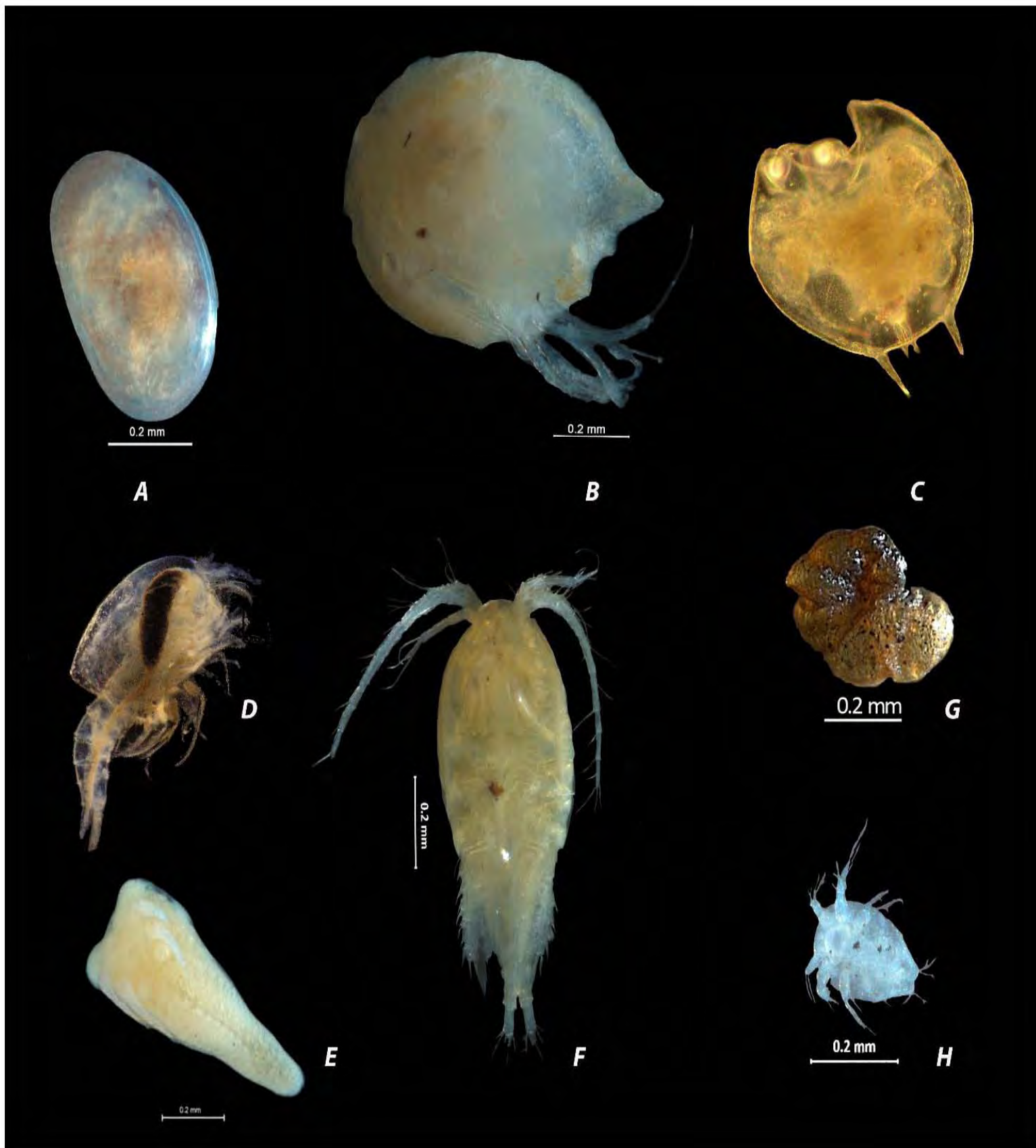


Figura 6. Organismos colectados en el Sistema SOBH: A) ostrácodo, B) *Humphreysella mexicana*, C) rotífero, D) *Tulumella unidens*, E) larva de Mysidae, F) copépodo, G) *Veleroninoides wiesneri* H) larva nauplio de copépodo.



Figura 7. Crustacéos colectados en el SOBH: A) *Mayaweckelia cenoticola*, B) *Antromysis cenotensis*, C) *Tuluweckelia cernua*, y D) *Bahadzia* sp.

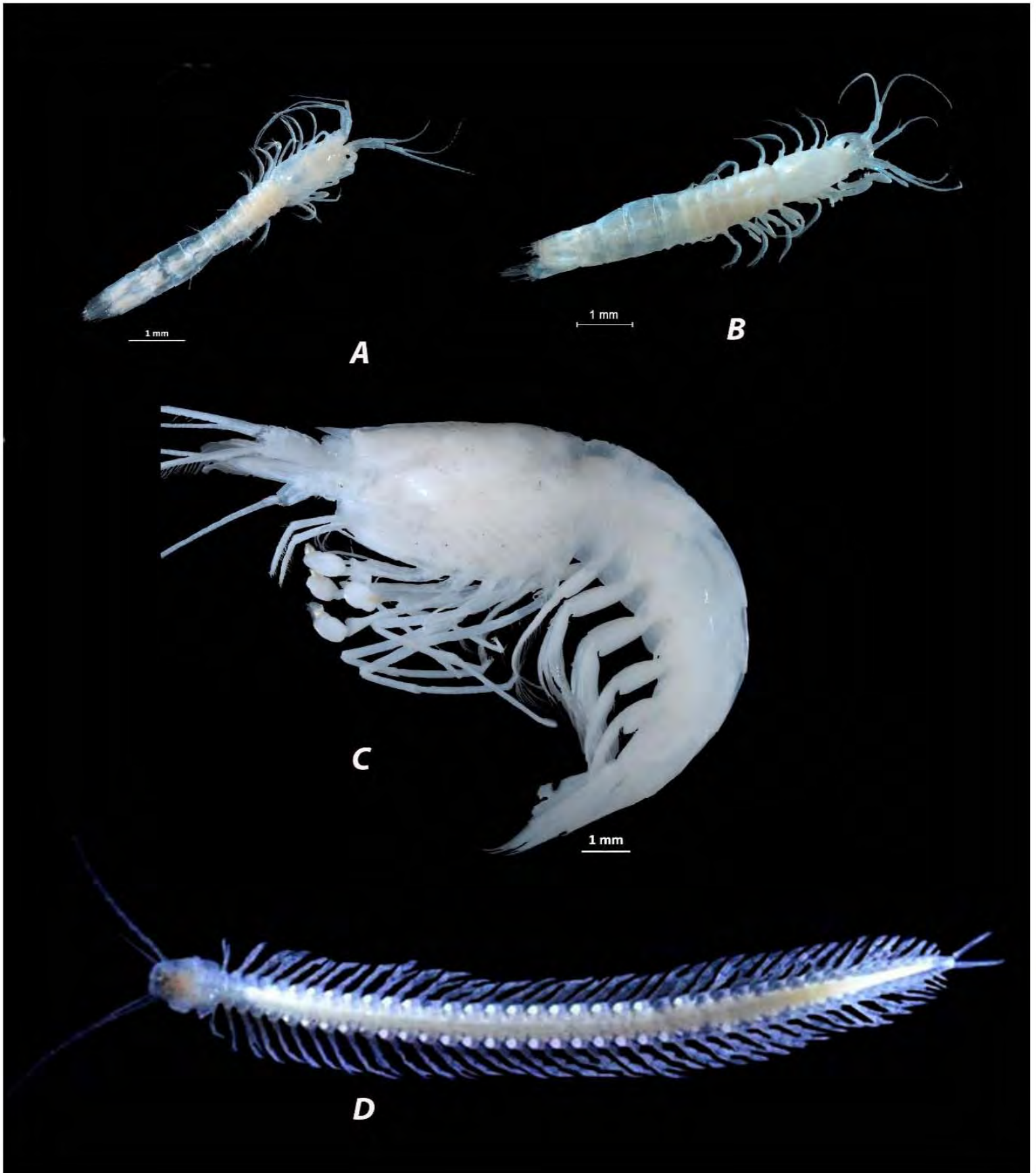


Figura 8. Crustáceos encontrados en el SOBH: A) y B) *Stigiomysis* sp., C) *Typhlatya* sp. y D) *Xibalbanus tulumensis*.



Figura 9. Ácaros encontrados en la capa superficial de los cenotes muestreados: A) *Neumania* sp, B) *Unionicola* sp, C) Arrenuridae D) *Limnesia* sp y E) *Centrolimnesia motasi*

Factores físico-químicos

Promedio general

Los datos que se muestran en la tabla 2 son el promedio anual de los parámetros físico-químicos: profundidad (m), temperatura (T°C), pH y oxígeno disuelto (mg/L).

Los datos de profundidad que se muestran en las tablas son aquellas en donde se presentaron las haloclinas de cada cenote, estas dependen de la distancia a la que se encuentre cada cenote con respecto de la línea de costa. El cenote más cercano a la costa es Na'ach Wennen Ha, a 0.86 km y la haloclina se presentó a 8.1 m de profundidad, seguido por el cenote Odyssey el cual se encuentra a 3.17 km y su haloclina se presentó a 9.2 m, ubicado en tercer lugar se encuentra el cenote Muknal el cual se ubica a 6.74 km y la haloclina a 14.8 m, por último el cenote Bang el cual está ubicado a 10.17 km de distancia y la haloclina se presentó a 15.2 m.

El promedio de los otros factores físico-químicos mostraron que la temperatura se mantuvo constante a lo largo del año (Tabla 2). Bang fue el cenote con temperatura promedio anual más baja en comparación de los demás cenotes ya que presentó 25.7 °C, seguido por el cenote Na'ach Wennen Ha con 26.1°C y con un promedio de 26.9 °C los cenotes Odyssey y Muknal. En cuanto a la salinidad los cenotes con menor salinidad promedio, fueron Na'ach Wennen Ha con 3.59 ppm y el más alto Muknal con 17 ppm.

Por otro lado, podemos observar un gradiente en la concentración de oxígeno disuelto (OD) ya que el cenote Na'ach Wennen Ha tuvo un promedio de 2.42 mg/L mientras que los cenotes que se encuentran en la parte media del transecto, Odyssey y Muknal, tuvieron un promedio de 1.19 mg/L y el cenote Bang siendo el más alejado a la línea de costa obtuvo un menor promedio de 0.41mg/L. Por último, se observó que el pH se mantuvo uniforme oscilando entre 7.1 y 7.3.

Tabla 2. Promedio de datos ambientales por cenote del SOBH, a lo largo del año 2013.

CENOTE	Profundidad haloclina (mts)	Salinidad (ppm)	Temperatura (°C)	pH	OD mg/L
Na'ach Wennen Ha	8.1	3.59	26.14	7.1	2.42
Odyssey	9.2	8.28	26.09	7.2	1.19
Muknal	14.8	17.16	26.09	7.3	1.19
Bang	15.2	4.91	25.71	7.1	0.41
Promedio total	11.8	12.7	26	7.1	1.30

Datos promedio por capa de agua

Estos datos se obtuvieron tomando en cuenta los valores físico-químicos de todos los cenotes y separándolos con respecto a las capas de agua; (tabla 3). La capa superficial se tomó en cuenta de los cero a los cuatro metros para todos los cenotes, esto se consideró debido a que el espectro de luz comienza a perder algunas ondas luminosas a partir de los cinco metros de profundidad.

La profundidad promedio de la capa **superficial** fue de 0.76 m y se observó una baja concentración de salinidad con 1.29 ppm, una temperatura de 26.2°C, un pH de 7.4 y una concentración de OD de 1.90 mg/L. Para la capa de **agua dulce** la profundidad se consideró a partir de los cinco metros y hasta donde se encontró la haloclina, esta capa presentó 9.50 m, una concentración de salinidad de 3.84 ppm, una temperatura de 25.8°C un pH de 7.1 y mostró 0.64 de OD. Por último, la capa de **agua salada** fue considerada a partir de la profundidad donde se encontró la haloclina y hasta donde el buzo avanzó dentro del agua salada, cabe destacar que la profundidad a la que se encuentra esta diferencia de densidad, no es la misma en todos los cenotes. Aquí se mostró una profundidad de 15.40 m, una concentración en la salinidad de 21.16 ppm, una temperatura de 26.1°C, un pH de 7.2 y 1.40 mg/L de OD.

Se puede observar que la salinidad muestra un gradiente, en donde las capas de agua se van salinizando de acuerdo a la profundidad; en cuanto a la temperatura la capa de agua superficial y agua salada son muy parecidas; los datos de pH fueron los que tuvieron una menor variación, únicamente presentando una pequeña tendencia a la acidificación y en cuanto al OD la capa de agua superficial y la capa de agua salada fueron las que mostraron una mayor concentración.

Tabla 3. Promedio de factores físico-químicos para cada capa de agua a lo largo de todo el SOBH.

Capa de agua	Profundidad (mts)	Salinidad (ppm)	Temperatura (°C)	pH	OD mg/L
Superficie	0.76	1.29	26.16	7.4	1.90
Agua dulce	9.50	3.84	25.8	7.1	0.64
Agua salada	15.40	21.16	26.12	7.2	1.40

Capas de agua por cenote

En las tablas 4, 5 y 6 se muestran los promedios de factores físico-químicos de cada cenote, diferenciando las tres capas de agua respectivamente, donde se muestra que la capa que cuenta con una mayor temperatura y un pH que tiende hacia la acidificación fue la superficial del cenote Muknal, mientras que la capa con un mayor oxígeno disuelto fue la superficial de Na'ach Wennen Ha. En cuanto a la presencia de la haloclina, el cenote que presentó una mayor profundidad promedio fue Muknal con 20.62 metros.

Tabla 4. Promedios de datos físico-químicos en la capa **superficial** de cada cenote. Los cuales se encuentran enlistados del más cercano a la línea de costa al más alejado.

CENOTE Superficie	Profundidad (mts)	Salinidad (ppm)	Temperatura (°C)	pH	OD mg/L
Na'ach Wennen Ha	0.77	0.51	26.38	7.6	3.45
Odyssey	0.39	2.15	25.93	7.5	2.36
Muknal	0.68	1.44	26.80	7.6	0.74
Bang	1.27	1.81	25.55	7.1	0.41

Tabla 5. Promedios de datos físico-químicos en la capa de **agua dulce** de cada cenote. Los cuales se encuentran enlistados del más cercano a la línea de costa al más alejado.

CENOTE Agua dulce	Profundidad (mts)	Salinidad (ppm)	Temperatura (°C)	pH	OD mg/L
Na'ach Wennen Ha	7.04	4.16	26.07	7.1	1.73
Odyssey	6.55	4.25	25.71	7.1	0.12
Muknal	11.80	5.50	25.80	7.1	0.29
Bang	13.38	2.34	25.78	7	0.22

Tabla 5. Promedios de datos físico-químicos en la capa de **agua salada** de cada cenote. Los cuales se encuentran enlistados del más cercano a la línea de costa al más alejado.

CENOTE Agua salada	Profundidad (mts)	Salinidad (ppm)	Temperatura (°C)	PH	OD mg/L
Na'ach Wennen Ha	10.08	9.05	26.07	7.1	2.08
Odyssey	13.32	29.20	26.46	7.2	1.08
Muknal	20.62	31.68	26.20	7.4	1.36
Bang	19.33	16.40	25.78	7.2	0.60

Datos máximos y mínimos en las temporadas de muestreo

Los datos que se obtuvieron al realizar los promedios únicamente muestran una generalidad de cómo se encuentra variando el ambiente, sin embargo al analizar los valores máximos y mínimos podemos observar que el ambiente tiene una alta variación para algunos de los parámetros físico-químicos, entre columnas de agua.

En la Fig. 10 se representa un corte transversal de cada cenote, ilustrando el transecto estudiado, donde por medio de colores se representa cada capa de agua, siendo verde para la capa superficial, azul claro para la capa de agua dulce y azul oscuro para la capa de agua salada. La haloclina se señala con una línea en diagonal, la cual atraviesa cada cenote y que representa el fenómeno en la diferencia de profundidad a la que se encuentra cada haloclina ya que esto depende de la distancia a la que se encuentra cada cenote con respecto a la línea de costa (desacoplamiento). Dentro de cada representación de las capas de agua se colocaron los valores máximos y mínimos de los factores físico-químicos que se mostraron en cada temporada de muestreo. Se colocó N/D en donde no fue posible obtener lecturas confiables.

FEBRERO

Los datos obtenidos en este mes se vieron afectados debió a que el sensor para el oxígeno disuelto de la sonda multiparametro Hydrolab, estuvo presentando fallas durante el muestreo y en particular en toda la colecta que se realizó en el cenote Muknal.

Capa superficial: los datos mostraron que en esta capa la temperatura no mostró variaciones grandes entre cenotes, ya que se mantuvo entre los 25.72 °C y los 25.11 °C, en cuanto a la salinidad se pudo observar una variación entre cenotes, siendo Na'ach Wennen Ha el que presentó una menor concentración con un valor máximo de 0.79 ppm y un mínimo de 1.14 ppm, seguido de Bang con un máximo y mínimo de 1.66-2.03 ppm y el cenote que presentó una mayor concentración en la salinidad fue Odyssey con valores de 3.79-3.96 ppm; en el caso del OD el cenote con menor concentración fue Na'ach Wennen Ha con 0-0.23 mg/L y el que mostró una mayor concentración fue Bang con 0-16.2 mg/L, en el caso de Odyssey y Muknal no se obtuvieron lecturas confiables para este parámetro. En cuanto al pH el cenote que presentó valores más bajos fue Bang con 6.92-6.98, seguido del cenote Odyssey con 6.83-7.04 y Na'ach Wennen Ha con valores altos de 7.38-7.44.

Capa de agua dulce: aquí los valores obtenidos para la temperatura tuvieron una menor variación entre cenotes. En el cenote Bang los datos máximo y mínimo obtenidos fueron 25.53-25.86 °C, para el cenote Odyssey de 25.64-25.82 °C y Na'ach Wennen Ha con 25.46-26.12 °C, este último fue el que presentó una mayor variación entre sus datos. En cuanto a la concentración de salinidad Bang obtuvo valores menores con 2.18-2.26 ppm, seguido del cenote Odyssey con 3.91-5.5 ppm y Na'ach Wennen Ha con un valor máximo mayor de 4.76-6.42 ppm. Los datos para Muknal de oxígeno disuelto no fueron confiables. En cuanto al pH Bang fue el que presentó valores altos con 6.92-7.08, seguido de Na'ach Wennen Ha con 6.91-7.35 y con un valor máximo mayor Odyssey con 7.59-8.08.

Capa de agua salada: la temperatura no mostró gran variación entre cenotes ya que los valores máximos estuvieron fluctuando entre 25.86°C a 26.95°C; la salinidad fue el

parámetro que presentó una gran variación, se observó que los valores máximo y mínimo para el cenote Bang fueron 2.23-34.54ppm, seguido del cenote Odyssey con valores máximo y mínimo de 6.08-34.91 ppm y por último Na'ach Wennen Ha con valores de salinidad de 5.73-29.09 ppm. Los datos para el OD no fueron confiables. En cuanto al pH en esta capa tuvo una tendencia a la neutralidad con respecto a la profundidad. Los valores observados fueron; en Na'ach Wennen Ha 6.82-7.14, Odyssey 6.85-7.36 y Bang con 6.97-7.42.

AGOSTO

Capa superficial: los datos máximos y mínimos de temperatura que se obtuvieron para este mes fueron: para el cenote Na'ach Wennen Ha 26.44-28.1°C, en Odyssey 25.61-29.15 °C, para Muknal 26.67-28.66°C y Bang con 25.6-25.72°C, estos mostraron que fue el mes más cálido. Para la concentración de salinidad se observó que en esta capa de agua no hubo una variación grande entre cenotes ya que los valores estuvieron oscilando entre 0.48 ppm en Na'ach Wennen Ha a 3.72 ppm para el cenote Odyssey. El OD tampoco presentó gran variación en este mes los valores observados fluctuaron de cero para Na'ach Wennen Ha a 8.9 en el cenote Odyssey. Estos dos últimos parámetros me mostraron estables, sin embargo los valores más altos se mostraron en Odyssey y Muknal, cenotes ubicados en medio del transecto estudiado. Los valores del pH fueron los más altos en este mes, en Na'ach Wennen Ha de 8.3-8.47, Odyssey 7.72-9.62, Muknal 7.78-8.37 y Bang con 7.71-7.88.

Capa de agua dulce: los valores de temperatura se mantuvieron constantes, siendo el mínimo 25.55 °C en Bang y el máximo 26.56 °C para Muknal. La concentración de salinidad mostró una gran variación entre cenotes, tomando en cuenta los valores máximos, Bang fue el que presentó una baja salinidad con 4.26ppm, seguido de Odyssey con 55.5 ppm, en tercer lugar Na'ach Wennen Ha con 6.72 ppm y por último el cenote que presentó el valor más alto fue Muknal con 29.22. En cuanto al OD Muknal presentó el valor más alto con 0.14-2.16 mg/L, Odyssey de 0.03-1.92 mg/L y Bang con 0.04-1.65 mg/L, Na'ach Wennen Ha no tuvo valores confiables. El pH fue el valor que menos cambio en cada cenote ya que se mantuvo entre 7.48 para Muknal y 8.21 en Na'ach Wennen Ha.

Capa de agua salada: Los valores de temperatura son muy parecidos a la capa de agua dulce ya que oscilaron entre 25.7 °C para Bang y 26.84 °C en Odyssey. La salinidad sí presentó una variación considerable entre cenotes, ya que los valores máximos y mínimos oscilaron entre 5.22 y 35.46 ppm, estos valores se mostraron en cada cenote de la siguiente forma: para el cenote Na'ach Wennen Ha presentó valores de 5.22-31.32ppm, Odyssey 8.64-33.3 ppm, el cenote Muknal de 7.8-33.12 ppm y Bang de 20.40-35.46 ppm. El OD también presentó una variación entre cenotes donde se observó un gradiente en las concentraciones con respecto a la distancia a la que están ubicados de la línea de costa, para Na'ach Wennen Ha no se obtuvieron datos, Odyssey presentó valores máximo y mínimo de las concentraciones de 0.7-1.72 mg/L, Muknal de 1.26-2.23 mg/L y el cenote Bang con 30.9-32.6 mg/L. En cuanto al pH los valores más altos los presentaron Odyssey 8.04 y Muknal con 8.01, seguidos de Bang con 7.92 y Na'ach Wennen Ha con 6.75.

DICIEMBRE

Capa superficial: los datos para la temperatura no tuvieron variaciones considerables ya que se mostró como valor mínimo 25.13 °C para Bang y como valor

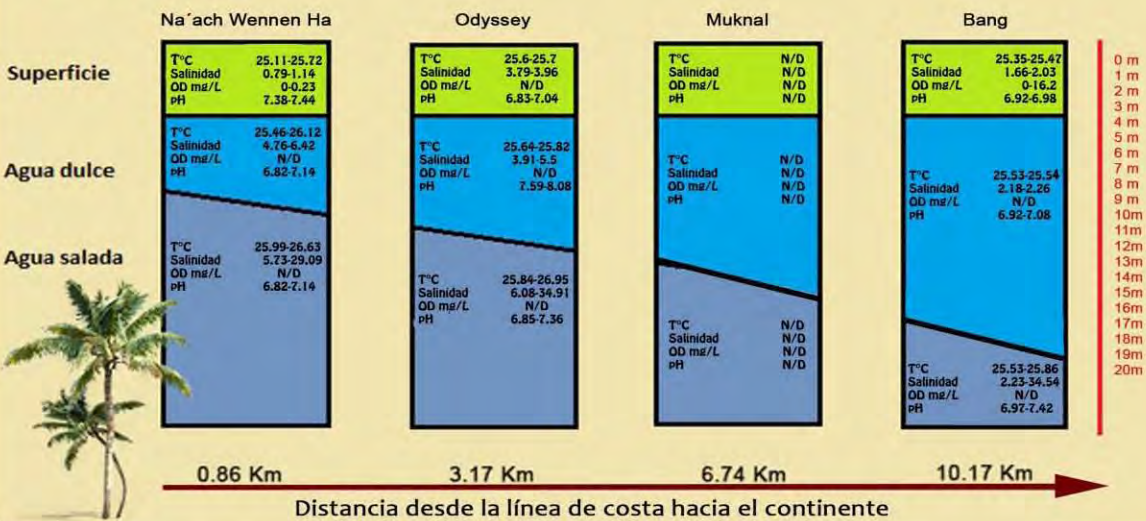
máximo 26.34 °C en el cenote Muknal. En cuanto a la concentración de salinidad el cenote que presentó el valor máximo mas alto fue Odyssey con 6.6 ppm y un valor mínimo de cero en Bang. Para el OD encontramos que el cenote Muknal mostró concentraciones bajas con un máximo y un mínimo de 0-0.75 ppm, seguido de Odyssey con 0-6.78 ppm, en el cenote Bang con 0-9.21 ppm y mostrando los valores más altos en este mes Na'ach Wennen Ha con 9.34-9.39 ppm. Por último tenemos al pH el cual no mostro grandes variaciones entre cenotes siendo Bang el cenote que presentó valores bajos con 6.55-6.82 y Na'ach Wennen Ha valores altos con 7.2-7.21.

Capa de agua dulce: para esta capa, la temperatura se mantuvo constante entre cenotes, ya que se observó con un valor mínimo de 25.22 °C en Odyssey y un máximo de 26.31 °C en Na'ach Wennen Ha. La salinidad mostró concentraciones mayores en los cenotes ubicados en medio del transecto, presentando un valor máximo de 10.93 ppm en Muknal y en Odyssey de 8.14 ppm, los cenotes que se ubican a los extremos del transecto mostraron valores máximos de 4.23 ppm en Na'ach Wennen Ha y 2.7 ppm para Bang. En cuanto al OD los cenotes Na'ach Wennen Ha y Muknal no presentaron lecturas confiables, mientras que Na'ach Wennen Ha tuvo un valor máximo de 9.38 mg/L y Odyssey de 1.9 mg/L. El pH se mostró con una tendencia a la neutralidad, ya que los valores oscilaron entre 6.47 como mínimo en Odyssey y 7.17 en Na'ach Wennen Ha.

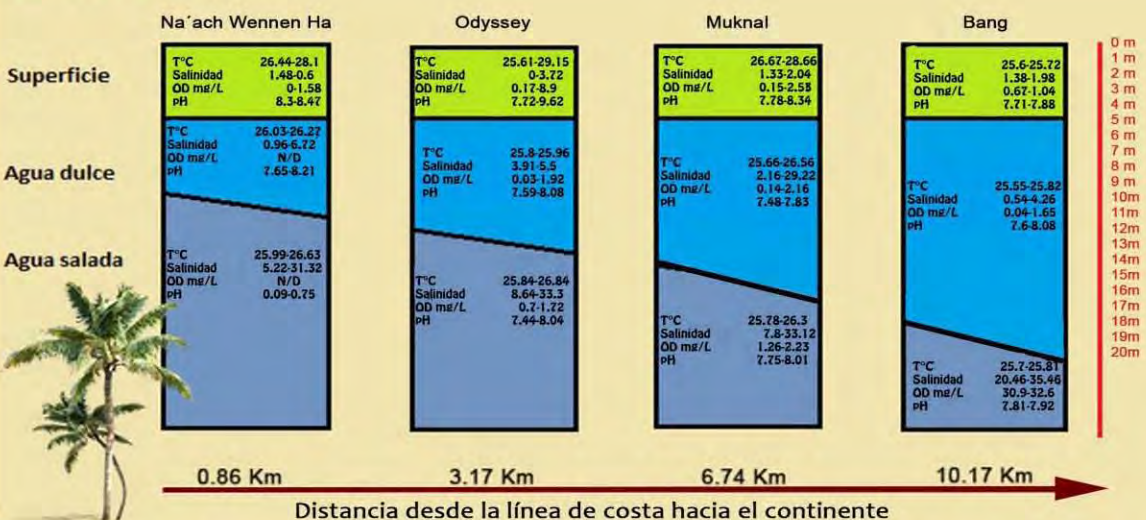
Capa de agua salada: al igual que en la capa anterior la temperatura en este mes se mantuvo sin variaciones considerables entre cenotes ya que el valor máximo fue de 26.46 °C en Odyssey, seguido de Muknal con 26.24 °C, Na'ach Wennen Ha con 26.19 °C y Bang con una temperatura menor de 25.9 °C. En este mes se percibió que la salinidad tuvo cambios importantes entre cenotes, ya que los cenotes ubicados en la parte media del transecto presentaron altas variaciones y concentraciones de este parámetro, los valores mínimo y máximo para Odyssey fueron de 8.05-32.71 ppm y en Muknal de 23.64-32.41 ppm, mientras que los cenotes ubicados a los extremos tuvieron una baja concentración y variación entre sus valores mínimo y máximo, presentando 2.8-7.5 ppm en Na'ach Wennen Ha y 2.55-4.9 ppm para Bang. En el caso del OD, el valor mínimo para todos los cenotes fue cero, y los valores máximos se presentaron en Odyssey con 35.5 mg/L, seguido de Na'ach Wennen Ha con 9.18 mg/L y Muknal con 2.42 mg/L, los datos en Bang no fueron confiables.

Los valores de salinidad tienen relación con la profundidad a la que fueron muestreados mostrando una estratificación en la columna de agua de cada cenote, si analizamos estos valores por temporada tenemos que, en el mes de diciembre se observó que hubo una baja de salinidad para todos los cenotes. Bang ahora se encuentra como el cenote con un valor máximo de salinidad, seguido del cenote Muknal, en tercer lugar Odyssey y por ultimo Na'ach Wennen Ha. El pH y la T°C fueron los factores más estables para todo el año; en la capa de agua dulce, la temperatura más alta fue en agosto y la más baja en febrero; en cuanto a la capa de agua salada, la T°C más alta fue en febrero y la más baja en agosto. El pH mostró que el valor más alto se presentó en la capa superficial de agosto y el más bajo en la misma capa pero de diciembre, en cuanto a la capa de agua dulce él valor más alto y más bajo, se observaron en agosto; en cuanto a la capa de agua salada el pH más alto fue para agosto y el más bajo para diciembre.

FEBRERO



AGOSTO



DICIEMBRE

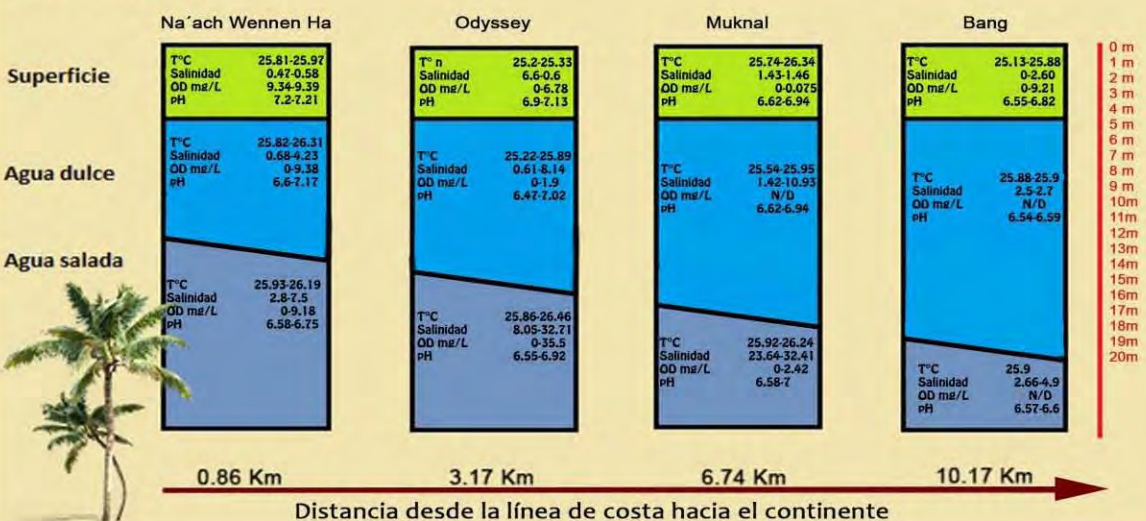


Figura 10. Corte transversal de los cuatro cenotes estudiados en el SOBH, indicando el valor máximo y mínimo de los factores físico-químicos, por temporada de muestreo y capa de agua. Verde: superficie, azul claro: agua dulce y azul fuerte: agua salada

Abundancia

La abundancia se consideró como la contabilización total de los individuos posibles de cada morfotipo que se encontró en los arrastres. De esta manera se pudo observar la presencia de cuatro Phyla distintos: Foraminifera, Rotifera, Arthropoda y Mollusca. De los que se obtuvieron un total de 1,436 individuos.

El cenote que presentó una mayor abundancia fue Odyssey con 1,081 individuos totales, seguido del cenote Muknal con 228 individuos, en tercer lugar, se posicionó el cenote Bang con 100 individuos y por último el cenote Na'ach Wennen Ha con 27 individuos (Fig. 9).

El grupo con mayor abundancia fue el Subphylum Crustacea, con un total de 1230 individuos pertenecientes a 26 especies. Odyssey fue el cenote que presentó una mayor abundancia con 1022 individuos, pertenecientes a 13 especies; seguido de Muknal con 137 individuos, pertenecientes a seis especies, Bang con 59 individuos de 12 especies y Na'ach Wennen Ha con 15 individuos de seis especies distintas.

El segundo grupo con respecto a la abundancia fue el Subphylum Hexapoda con 87 individuos pertenecientes a tres taxa. Siendo el cenote Muknal el que presentó una mayor abundancia con 56 individuos, el cenote Odyssey presentó 15 individuos y el cenote Na'ach Wennen Ha únicamente seis, estos individuos fueron únicamente larvas de díptero. En el cenote Bang se presentaron 10 individuos, pertenecientes a tres taxa, los cuales son, Collembola, larvas de Diptera y larva de Coleoptera.

El tercer grupo con respecto a la abundancia fue la subclase Acari con un total de 54 individuos pertenecientes a 16 especies distintas, siendo Muknal el cenote que presentó una mayor abundancia con 25 individuos pertenecientes a nueve especies, seguido por el cenote Bang con 15 individuos pertenecientes a siete especies, en tercer lugar se ubicó el cenote Odyssey con ocho individuos de tres especies distintas y por último el cenote Na'ach Wennen Ha que presentó una menor abundancia con seis individuos pertenecientes a cuatro especies.

El Phylum Mollusca quedó en cuarto lugar ya que solo se obtuvieron 33 individuos pertenecientes al género *Pyrgophorus*, siendo el cenote que presentó una mayor abundancia Odyssey, con 33 individuos, seguido del cenote Bang con siete, el cenote Muknal con solo dos individuos y por último el cenote Na'ach Wennen Ha que no presentó ningún ejemplar.

Para el Phylum Foraminifera se obtuvieron 13 individuos pertenecientes a la especie *Veloroninoides wiesneri*, donde el cenote con mayor abundancia de este grupo fue Bang con seis individuos, seguido de Odyssey con cuatro, en tercer lugar Muknal con tres y Na'ach Wennen Ha sin ningún individuo. El Phylum Rotifera fue el menos abundante con 10 individuos, que solo estuvieron presentes en Bang y Muknal.

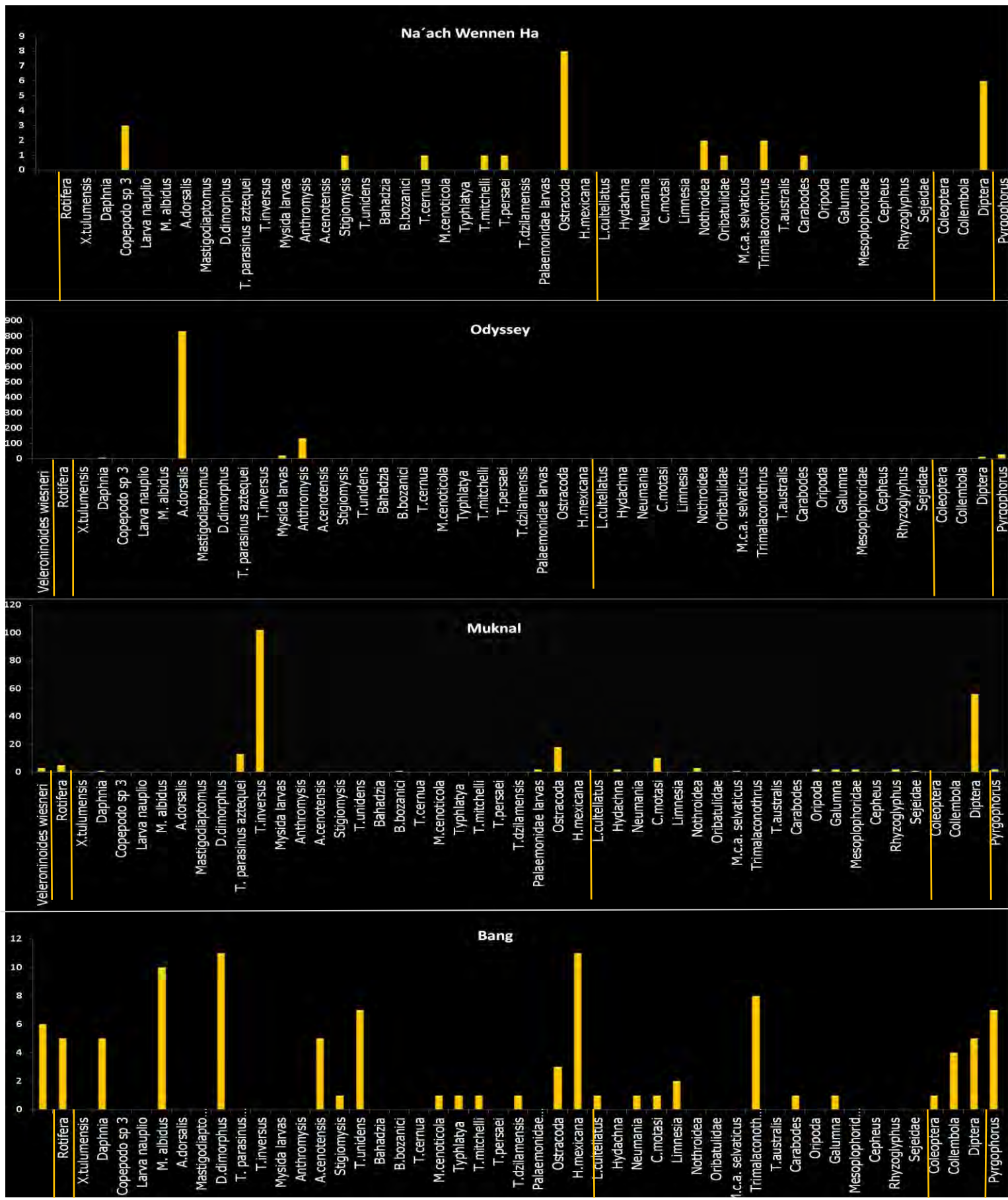


Figura 11. Gráficas de barras, donde se muestran las abundancias de las especies encontradas por cenote, las cuales están acomodadas verticalmente del cenote más cercano a la línea de costa al más alejado. Se encuentran seis secciones las cuales son: 1° Crustáceos, 2° Hexápodos, 3° Ácaros, 4° Gasterópodos, 5° Foraminíferos y 6° Rotíferos.

Relación de factores físico-químicos con respecto a la abundancia de individuos

Se realizaron regresiones lineales simples. Se consideró la abundancia total de individuos y los datos de los parámetros físico-químicos, de los que se obtuvieron los promedios, separando los valores y las abundancias por cada capa de agua considerando todos los cenotes, así como los 1,436 organismos.

Se consideraron como independientes cada una de las capas de agua de los cuatro cenotes (Tabla 7); esto con el fin de conocer el grado de influencia de cada uno de los parámetros con respecto a la abundancia de organismos en cada una de las capas. El asterisco muestra los valores que indican significancia con una $P= 0.5$

La temperatura mostró significancia en las abundancias de las tres capas de agua. El pH fue significativo únicamente en la capa de agua superficial. La asociación con la salinidad fue significativa únicamente para las capas, superficial y de agua dulce. Mientras que el oxígeno disuelto únicamente fue significativo en la capa de agua salada.

Tabla 7. Valores de R obtenida en la regresión lineal entre abundancia total y factores físico-químicos.

Capa de agua	Temperatura	pH	Salinidad	OD
superficial	0.334*	0.657*	0.386*	0.169
Agua dulce	0.284*	0.330	0.650*	0.189
Agua salada	0.375*	0.198	0.236	0.286*

Diversidad

Como primer elemento de la diversidad, se analizó la riqueza específica, por medio de curvas de acumulación de especies, ajustadas con el estimador Jackknife 1 o de primer orden $1 = S + L ((m - 1)/m)$. Este procedimiento se realizó para los cuatro cenotes, considerando presencia y ausencia de las especies obtenidas de cada capa de agua y cada temporada muestreada. En la Fig. 11., podemos observar la curva de acumulación de especies, donde en verde son las especies observadas (49) y en azul las esperadas (72), en el eje de las x se encuentra la presencia y ausencia de estas por capa de agua, de cada mes muestreado.

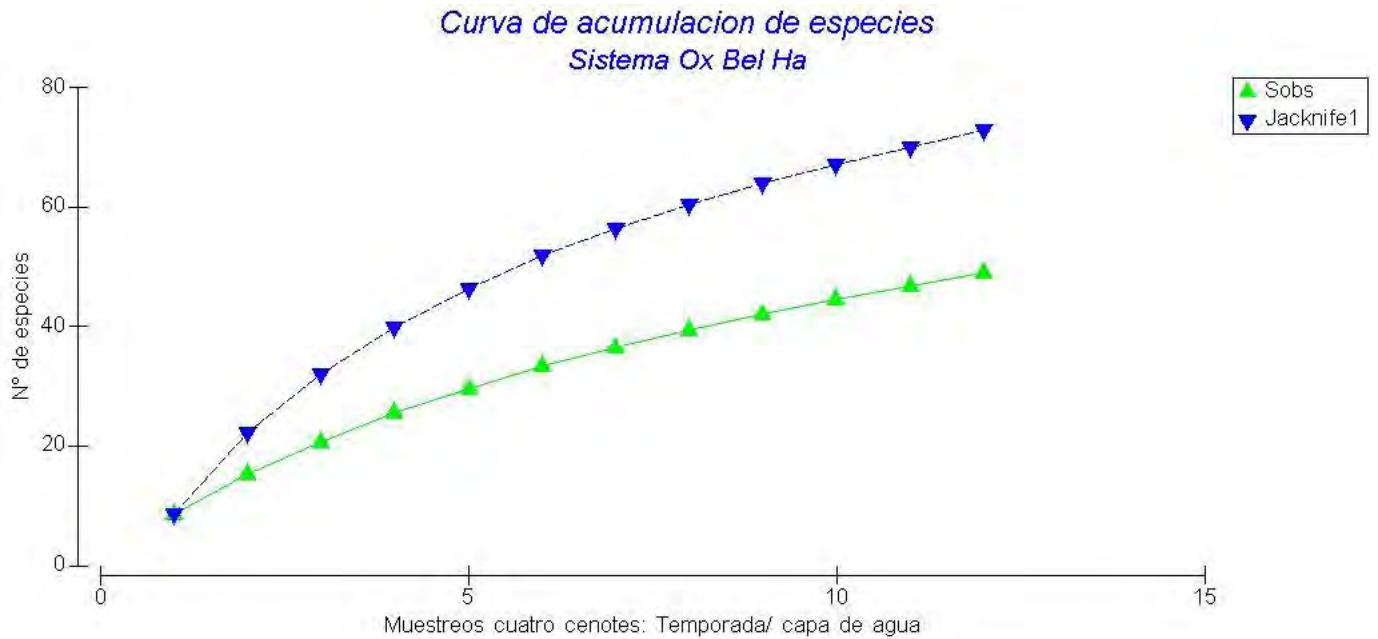


Figura 11. Curva de acumulación contemplando todas las especies presentes en cada capa de agua y mes de muestreo de todos los cenotes muestreados. Los cenotes se encuentran representados en el eje de las X, del más alejado a la línea de costa al más cercano.

Se realizaron curvas de acumulación de especies ajustadas al estimador Jackknife 1, para cada cenote, contemplando las capas de agua y la temporada de muestreo, como muestras independientes. En la Fig. 12, se encuentran representadas cuatro gráficas correspondientes a cada cenote, donde podemos observar de nuevo la curva de organismos observados contra los estimados. Para el cenote Bang (Fig. 12A) las especies observadas fueron 25, mientras que las estimadas fueron 39. En Muknal (Fig. 12B) se observaron 19 especies y se estimaron 31, para el cenote Odyssey (Fig. 12C) las especies observadas fueron 19, mientras que las esperadas fueron 30, y por último en el cenote Na'ach Wennen Ha se observaron 11 y se estimaron 19 especies.

Las gráficas por capa de agua contemplando todos los cenotes y la temporada de muestreo se muestran en la Fig 13. Donde se observó que en la capa superficial (Fig 13A) las especies observadas fueron 35 mientras que las estimadas 51, para la capa de agua dulce (Fig 13B) se observaron 17 y se estimaron 28, y finalmente en la capa de agua salada (Fig 13C) se observaron cuatro y se estimaron siete especies.

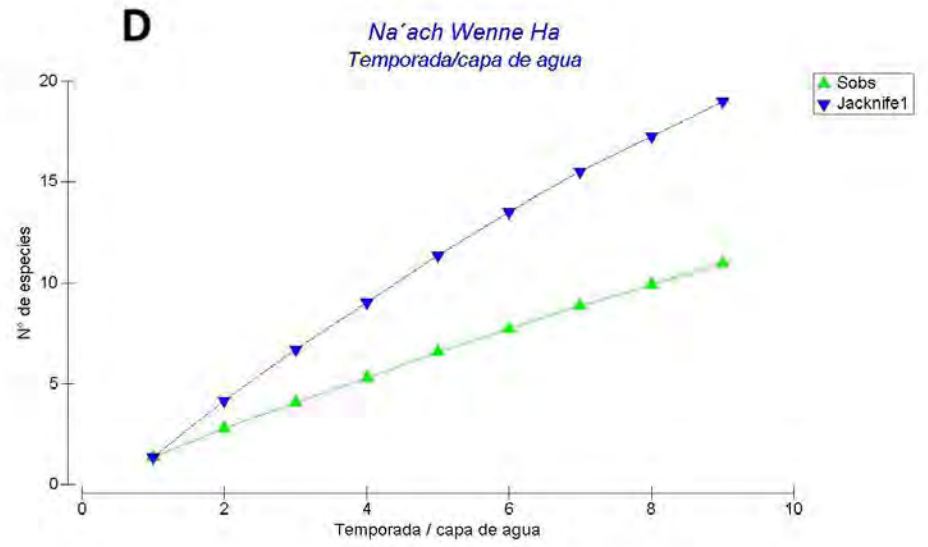
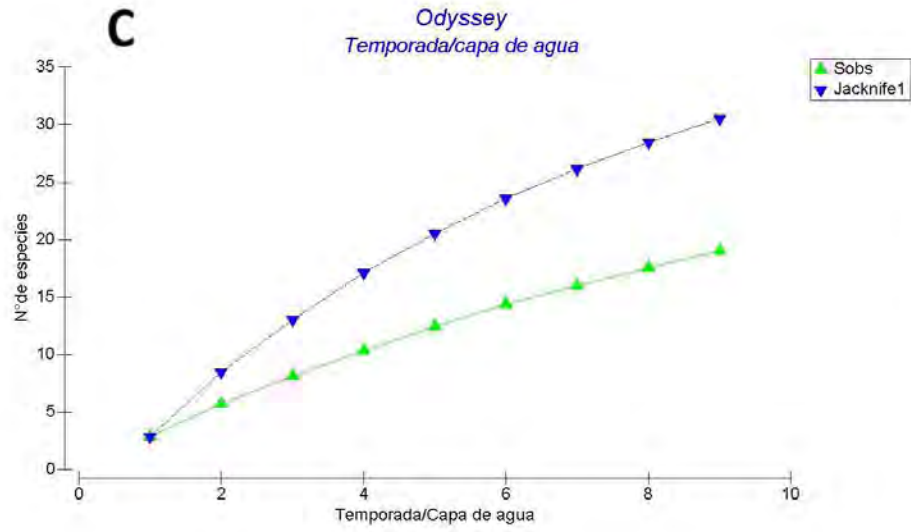
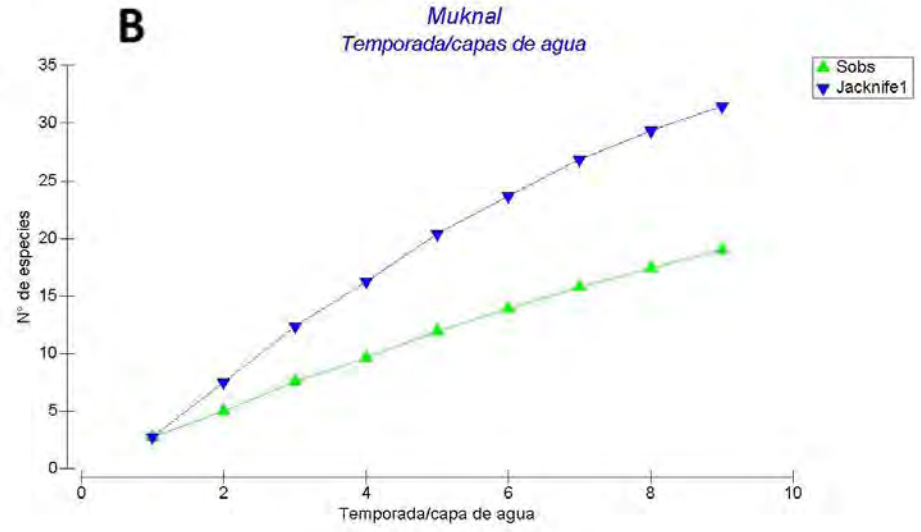
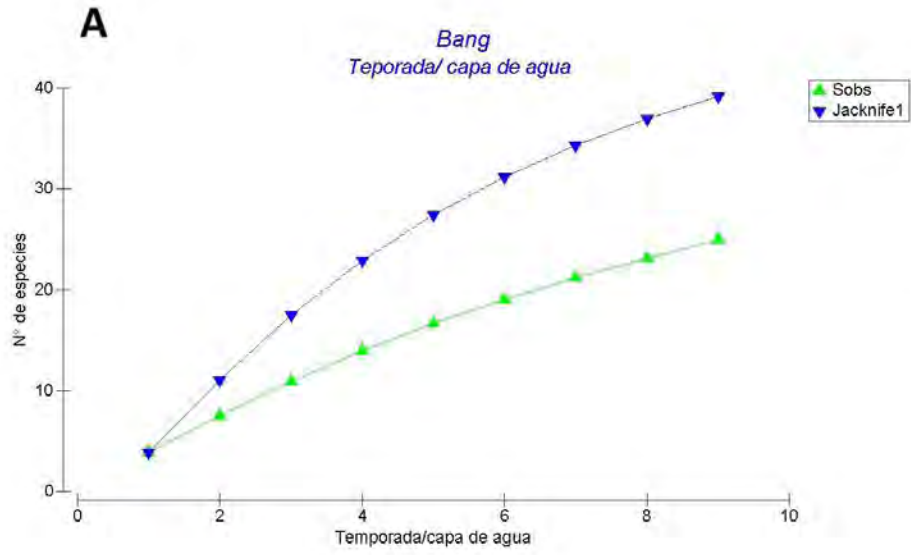


Figura 12. Curvas de acumulación de especies con el estimador Jackknife 1, de cada cenote, tomando como independientes las capas de agua y la temporada de muestreo. A) Bang, B) Muknal, C) Odyssey y D) Na'ach Wenne Ha

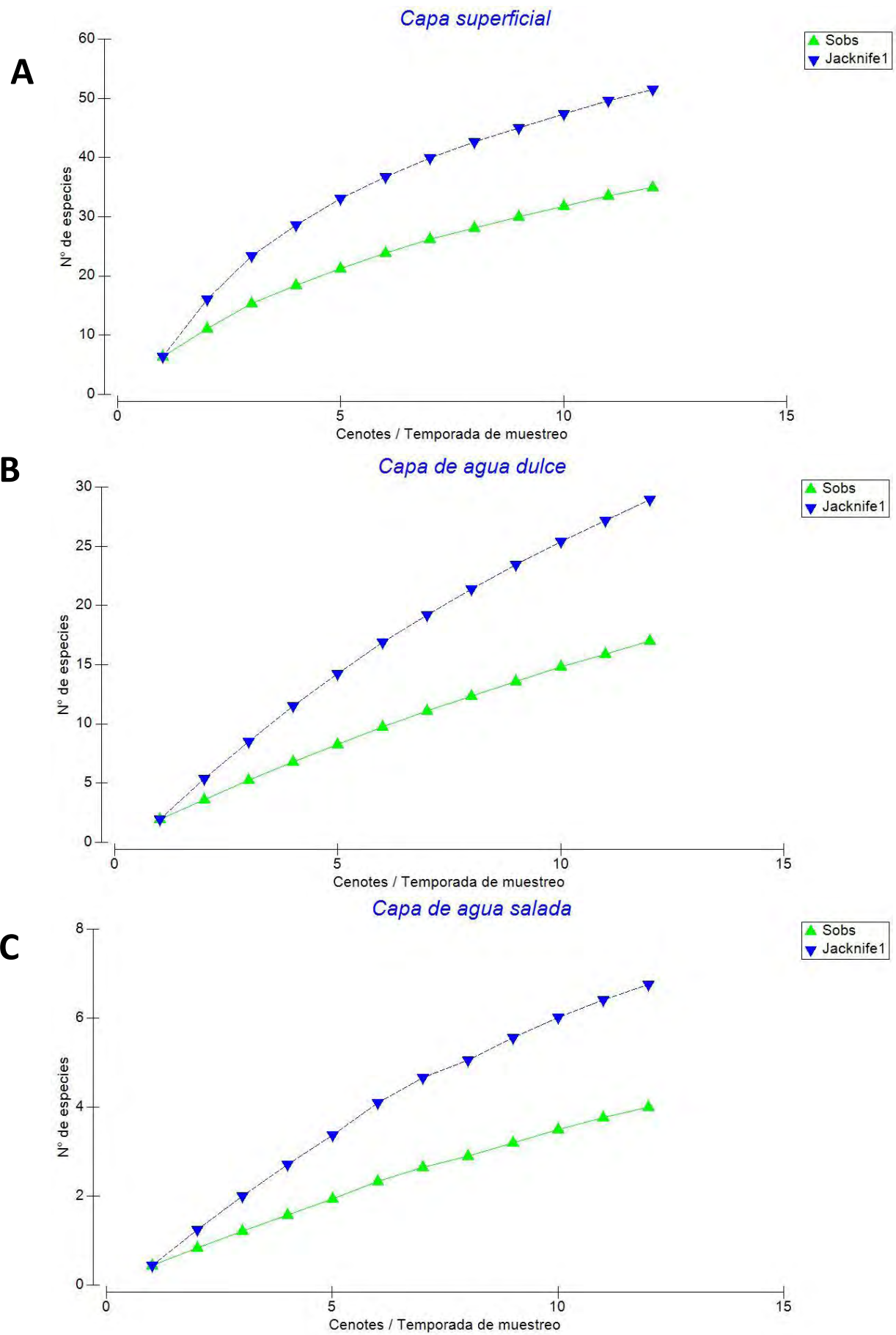


Figura 13. Curvas de acumulación de especies con el estimador Jackknife 1 de todos los cenotes considerando la temporada de muestreo y separando las capas de agua: A) superficial, B) capa de agua dulce y C) capa de agua salada.

A través del cálculo de los índices de Shannon-Weinner (H') y Simpson ($1-\lambda$) se realizaron análisis de diversidad de los cuales se obtuvieron gráficas. En la Fig. 14 se muestra una gráfica de líneas donde está representada la diversidad que se obtuvo de cada cenote, vemos que en el cenote Odyssey hay un decrecimiento marcado, mientras que para Muknal y Bang la curva va en ascenso. Entonces se tiene que en cuanto a la diversidad total, se comporta con valores altos al principio y al final del transecto, esto es cerca y lejos de la línea de costa. Se realizó el mismo procedimiento para cada capa de agua (Fig. 15) donde se muestra un descenso en el agua dulce y un ascenso en la superficie y en el agua salada.

En este estudio se obtuvieron valores intermedios del índice de Shannon-Weinner $H' = \sum p_i \ln p_i$ el cual mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo. $0 =$ a una sola especie y $\ln 49 = 3.89$ todas las especies.

El índice de Simpson $D' = 1 - \lambda$ mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos extracciones sucesivas al azar sin reposición. Toma valores de $0 =$ baja diversidad y $1 - 1/49 = 0.98$ alta diversidad

En la Tabla 8 se encuentran desglosados los índices de cada cenote y que se utilizaron para hacer gráficas, donde se muestra que Bang es el que presentó una mayor abundancia con una $H' = 2.87$ y una $D' = 0.94$, seguido del cenote Na'ach Wennen Ha con una $H' = 2.05$ y una $D' = 0.86$, mientras que Muknal obtuvo una $H' = 1.78$ y un $D' = 0.72$ y finalmente con valores bajos Odyssey con una $H' = 0.91$ y una $D' = 0.38$. Se puede apreciar que en el cenote Odyssey hay una baja de diversidad, tanto en la capa superficial, como en la capa de agua dulce, mientras que para la capa de agua salada se ve que hay un pico que representa el incremento en la diversidad para esta capa.

Los valores obtenidos en la diversidad por capa de agua también se tomaron para realizar gráficas (Fig. 15), en la capa superficial se obtuvo una $H' = 1.49$, en la capa de agua dulce se observó una $H' = 1.14$, y en la capa de agua salada una $H' = 1.07$

En la tabla 10 se observan desglosados los índices de diversidad por cada capa de agua, donde en color verde está representada la superficie, en azul fuerte la capa de agua dulce y en azul claro la capa de agua salada. Se aprecia que para la capa **superficial** el cenote que presentó una mayor diversidad fue Bang, seguido de Muknal, en tercer lugar se encuentra Na'ach Wennen Ha y por último Odyssey. En la capa de **agua dulce** se observa que el cenote con mayor diversidad fue Na'ach Wennen Ha, seguido del cenote Bang, los cuales hay que recordar se encuentran a los extremos del transecto; en tercer lugar se encuentra el cenote Muknal y con menor diversidad para esta capa de agua el cenote Odyssey. Para la capa de **agua salada** podemos observar que el único cenote con datos fue Odyssey. Lo cual se debe a la poca abundancia de organismos que se obtuvieron. Y se muestran sus gráficas en la Fig. 16.

Tabla 8. Índices de equitatividad de Shannon-Weinner y Simpson de cada cenote

Cenote	Shannon-Weinner H'	Simpson 1-Lamda
Bang	2.87	0.94
Muknal	1.78	0.72
Odyssey	0.919	0.38
Na'ach Wennen Ha	2.05	0.86

Tabla 9. Índices de equitatividad de Shannon-Weinner y Simpson por capa de agua

Capa de agua	Shannon-Weinner H'	Simpson 1-Lamda
Superficie	1.49	0.53
Agua dulce	1.14	0.47
Agua salada	1.07	0.64

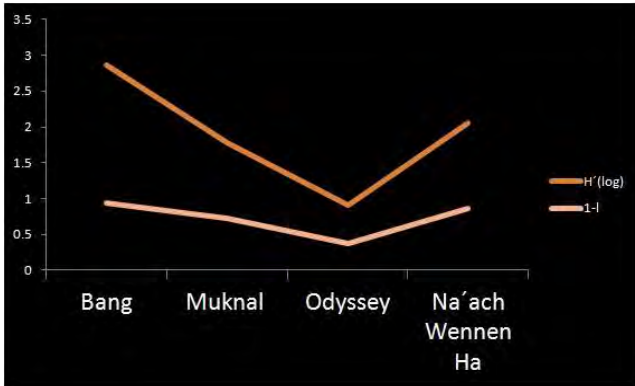


Figura 14. Gráfica de líneas de equitatividad mostrando los índices de Shannon-Weinner (H') y Simpson (1-lambda), por cenote.

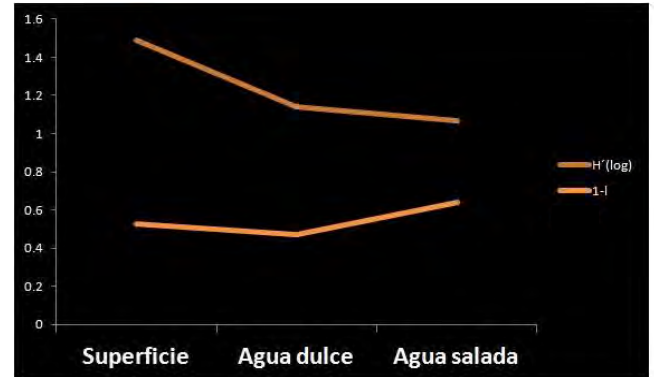


Figura 15. Gráfica de líneas, mostrando los índices de diversidad Shannon-Weinner y Simpson, por capa de agua en todo el SOBH.

Cenote	H'	1-Lamda
Na'ach Wennen Ha	1.681	0.81
Odyssey	0.328	0.10
Muknal	1.728	0.72
Bang	2.478	0.91
Na'ach Wennen Ha	1.986	1
Odyssey	0.5759	0.30
Muknal	0.6369	0.66
Bang	1.559	0.77
Na'ach Wennen Ha	0	0
Odyssey	1.099	1
Muknal	0	0
Bang	0	0

Tabla 10. Índices de equitatividad para cada cenote por capa de agua, siendo Na'ach Wennen Ha el más cercano a la línea de costa y Bang el cenote más alejado.

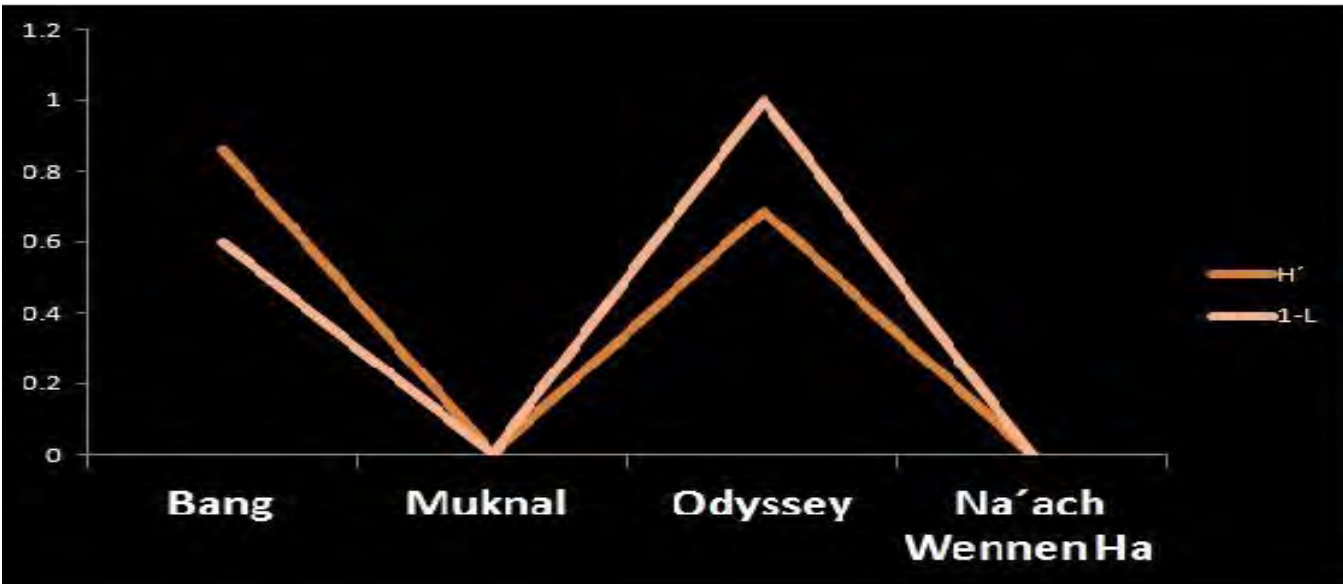
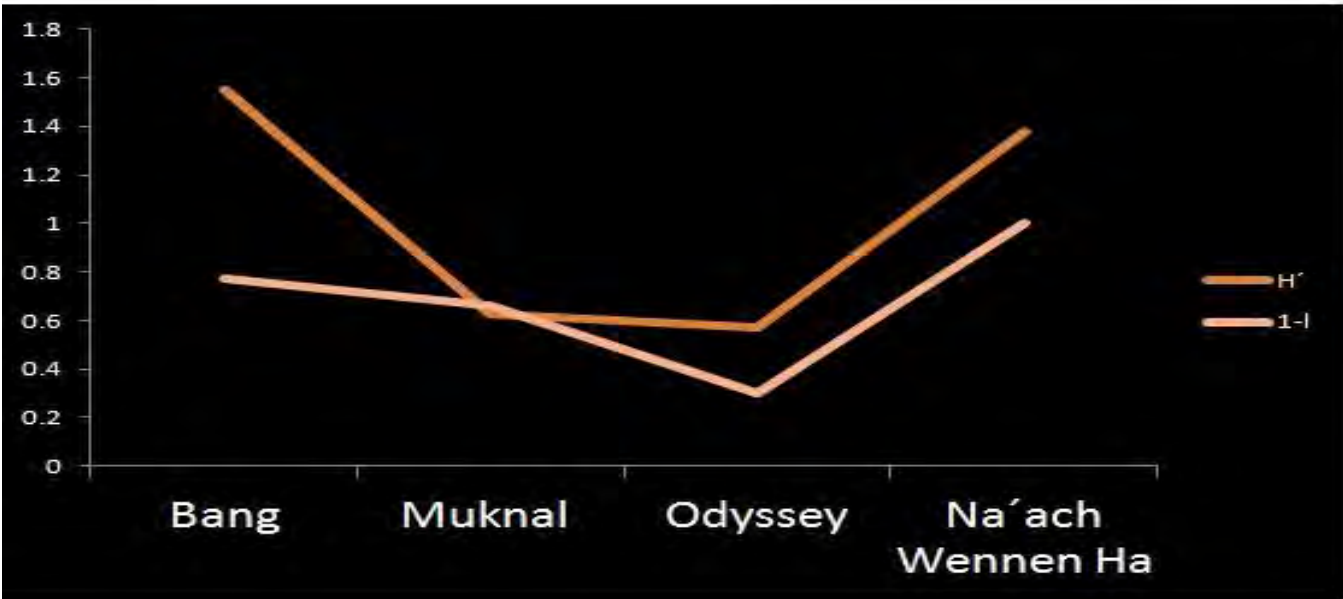
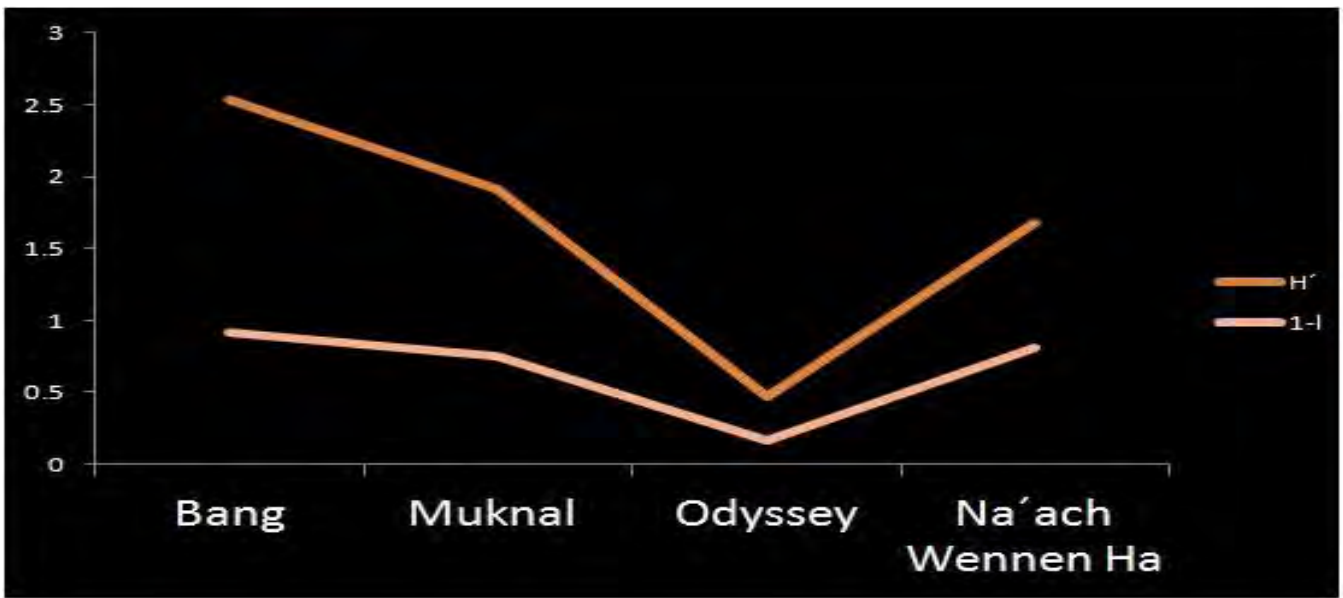


Figura 16. Gráficas de líneas, donde se representa la diversidad de especies por capa de agua de cada cenote, siendo en el eje de las X los cenotes y en el eje de las Y el índice de equitatividad H (Shannon-Weinner) y Simpson 1-L.

DISCUSIÓN

Factores físico-químicos

Considerando que los datos que se obtuvieron por medio de la sonda multiparámetro fueron tomados cada 30 segundos durante todos los buceos, y que las inmersiones duraron entre 1.5 y 2 h, la base de datos de los factores físico-químicos fue abundante, por lo que se decidió obtener promedios para tener un entendimiento general de cómo están actuando estos factores dentro del SOBH. Se observó un gradiente en el OD, que tiene relación con la distancia a la que se encuentra cada cenote con respecto a la línea de costa. Se observa que el cenote con mayor OD es Na'ach Wennen Ha y que la tendencia es de disminución al alejarse de la línea de costa. La temperatura y la salinidad tuvieron una variación similar, disminuyendo conforme aumenta la distancia de la costa hacia el continente. Esto podría explicarse por el nivel freático con el que cuenta la PY ya que según Schmitter *et al.* (2002), es de menos de 2 m sobre el nivel del mar, los gradientes hidráulicos son muy bajos ya que van de 7 -10 mm por km. Esto provoca que la capa de agua dulce sea delgada y flote por encima del agua salada. Se ha demostrado que el agua salada se encuentra a más de 110 km de la costa y tiene doble origen: el agua proveniente del mar y el agua que se mezcla con la disolución de evaporitas.

También se ha visto que la temperatura es estable en cenotes lóticos ya que está controlada por la geometría del flujo en el sistema y se vuelve estable a partir de los 10 m de profundidad, mientras que en los cenotes lénticos se presenta una variación vertical y horizontal a lo largo del año. Cuando el agua entra en la capa freática adquiere CO₂ del suelo y de la oxidación de la materia orgánica disuelta o en suspensión, estos procesos disminuyen la concentración de O₂ y aumenta la acidez que se neutraliza por efecto de la roca caliza (Schmitter *et al.*, 2002).

Estratificación de la columna de agua

Debido a los objetivos de este estudio se consideraron tres capas de agua, la superficial, la capa de agua dulce y la capa de agua salada. Con los datos obtenidos se confirmó la existencia de estas masas de agua, lo que valida el diseño de muestreo realizado. Esta estratificación de la columna de agua ha sido ya descrita por Holthuis (1979) y mencionada por Beddows (2002) y Álvarez y Iliffe (2008), entre otros autores.

Los promedios de los datos ambientales, englobando los datos de todos los cenotes y todos los muestreos, muestran cómo es que la salinidad promedio tiene un gradiente marcado con respecto a la profundidad. Este patrón es debido a la presencia de agua salada que entra del mar hacia los ductos subterráneos y esta capa de agua se presenta cada vez más profunda dependiendo de la distancia a la que se encuentre el cenote con respecto a la línea de costa, teniendo la capa de agua salada a menos profundidad en cenotes más cercanos a la línea de costa y más profundos en los más alejados.

El patrón de estos factores podría explicarse por la influencia que tiene la temperatura y la salinidad en la separación de capas de agua según Beddows *et al.* (2007), consideran que existe una tendencia a tener agua más salobre en la capa de arriba de la haloclina que va aumentando hacia la línea de costa. Esto lo atribuyen a la influencia de mareas y tormentas, así como a la porosidad a la que está expuesta la red de conductos subterráneos. Sin embargo, en este estudio se observa que existe una tercera capa donde se

presenta otro cambio de salinidad y temperatura, en una capa superficial que cuenta con un mayor aporte de materia orgánica y de influencia de la luz solar, pero en todos los cenotes muestreados no presenta una tendencia a volverse salobre. Sin embargo si se presentan varios gradientes conforme la profundidad.

Otra observación es que el promedio general de temperatura arrojó una gran similitud entre la temperatura promedio de la capa superficial (26.16 °C) y la capa de agua salada (26.12 °C). Esto se puede atribuir a que debido a los solutos presentes en el agua salada esta mantiene sus propiedades de temperatura con respecto a la radiación solar, mientras que la capa de agua dulce al ser influenciada mayormente por las filtraciones del subsuelo y precipitación, así como la presencia de menos solutos es un poco menos cálida ya que se mantuvo alrededor de 25.5 °C.

En cuanto al OD promedio, se observó que en la superficie existe una concentración de 1.90 mg/L lo cual según Goyenola (2007), sugiere un ambiente hipóxico donde solo se quedan las especies altamente especializadas para esta falta de OD. Así también se observa que para la capa de agua dulce se obtuvo un promedio de 0.64 mg/L, lo que significa que es un ambiente anóxico, donde los organismos totalmente aerobios no puedan sobrevivir. El agua salada presentó un promedio de 1.40 mg/L lo cual representa un ambiente nuevamente hipóxico. Esto podría explicar que dentro de la capa superficial exista una diversidad alta, mientras que en las capas subsecuentes los organismos son más adaptados a la falta de oxígeno.

Si observamos los datos físico-químicos por temporada del año, podemos observar que sí existe un cambio marcado, esto podría ser debido a la estacionalidad del clima que existe en la PY, ya que el mes de agosto fue el que presentó una temperatura más elevada, mientras que febrero y diciembre se mantuvieron constantes, según Beddows *et al.* (2007) existen secas de noviembre a abril, vientos de marzo a mayo y lluvias de mayo a octubre; mientras que los meses más cálidos son julio y agosto y los más fríos diciembre y enero. También se pudo observar un cambio en la profundidad a la que se presenta la haloclina con respecto a la temporada de muestreo, esta varía de 1 a 3 m, lo cual podría hacer que la capa de agua dulce sea más influenciada por la capa salada. En el mes de diciembre la profundidad a la que se encontró la haloclina fue mayor, y como se mencionó antes los cenotes que se ubican a los extremos del transecto tuvieron una baja salinidad en este mes., esto debido a que la época de lluvias afectó en nivel del agua filtrada, dejando una capa más gruesa de agua dulce y con mayor influencia hacia la capa salda.

Por otro lado los cenotes que se encuentran en medio del transecto tuvieron una mayor estabilidad en condiciones físico-químicas, esto podría deberse a que las características de profundidad y distancia a la que se encuentran de la línea de costa, permiten que se establezcan rápidamente los cambios de salinidad y temperatura principalmente, mientras que los cenotes encontrados a los extremos, en el caso de Na'ach Wennen Ha tiene mayor influencia del mar y en Bang esta influencia tarda más tiempo en llegar por lo tanto en establecer sus condiciones

Abundancia

Se consideró que la abundancia en este estudio se analizara por medio de la contabilización de todos los organismos muestreados, no se realizaron mediciones de densidad o biomasa ya que los muestreos no fueron realizados con las herramientas necesarias para este tipo de análisis. A pesar de ello pudimos observar que los cenotes que obtuvieron una mayor abundancia de organismos fueron Odyssey y Muknal al contar con el mayor número de individuos colectados; estos cenotes se encuentran en medio del transecto, a diferencia de los cenotes Na'ach Wennen Ha y Bang encontrados a los extremos, los cuales tuvieron una baja abundancia, esto podría atribuirse a la estabilidad antes mencionada de los factores físico-químicos de los cenotes ubicados en medio del transecto, mientras que los que se encuentran a los extremos fluctúan de mayor manera en estos factores provocando una baja abundancia en organismos que no se encuentren bien adaptados, así como el esfuerzo de muestreo que no fue el mismo en todos los cenotes debido a la diferencia de longitud de cada uno de estos y la distancia a la que se encuentran con respecto a la línea de costa.

Es importante comentar que la parte superficial de los cenotes fue la más abundante, esto puede ser debido a la gran competencia que se encuentra en esta capa de agua ya que se encuentran coexistiendo distintos Phyla y a que en esta capa aún hay productividad primaria por influencia de la luz solar, permitiendo que organismos tales como rotíferos, foraminíferos y algunas larvas de insectos puedan vivir alimentándose de fitoplancton y materia orgánica que cae al agua. El cenote con mayor abundancia fue Odyssey esto se puede atribuir al tipo de entrada con la que cuenta, que es tipo caverna de lado, y dentro de la bóveda que se desarrolló habitan murciélagos, los cuales al defecar dentro de la caverna aportan materia orgánica al zooplancton.

Gasca-Suárez (1996) menciona que los organismos más abundantes son principalmente crustáceos como los copépodos, los cuales constituyen generalmente entre el 50% y el 80% del total del zooplancton, tanto en los océanos como en aguas neríticas y costeras, debido a su abundancia son el alimento principal de los depredadores de estas comunidades. Otro aspecto importante del zooplancton es que su distribución, composición y abundancia son producto de condiciones biológicas e hidrológicas en las cuales habitan estos organismos, por lo que la presencia y/o ausencia de ciertos grupos podría arrojar información de acuerdo a ciertas condiciones del cuerpo de agua en cuestión, así como la presencia de una determinada masa de agua y/o cambios abruptos de temperatura. Esto podría explicar la presencia de 978 copépodos en la capa superficial con una mayor abundancia en Odyssey y Muknal respectivamente.

En cuanto a los ácaros obtenidos, se observó que el cenote con una mayor abundancia fue Muknal y Bang respectivamente, este grupo se encontró en la superficie ya que requieren de algunos productores primarios como hongos o bacterias para alimentarse, según Schuster y Murphy (1991), dentro de las estrategias de vida que desarrollan los ácaros está ser ectoparasitos en una de sus etapas de vida (larva), de crustáceos o insectos. Así como, en otras etapas tienen hábitos alimenticios saprófagos, por lo que los ambientes que cuentan con una mayor cantidad de recursos, se encuentra una alta abundancia de especies.

Se encontró la especie *Veleroninoides wiesneri* la cual es de foraminífero, y que habitan principalmente ambientes marinos, por lo que es extraño encontrarlos en este tipo de ambiente, sin embargo Hengstum (2008) realizó un estudio llamado “thecamoebians (testate amoebae) and foraminifera from three anchialine cenotes in Mexico: low salinity (1.5–4.5 psu) faunal transitions” donde menciona de los primeros registros de este grupo en cenotes y explica que la gran variación de factores físico-químicos en estos ambientes crea microambientes donde pueden habitar estos organismos.

La capa de agua dulce fue la segunda más abundante, ya que presentó 186 individuos, esto puede ser debido a que es la capa más espesa, en comparación con las otras dos, tiene mayor estabilidad y el tiempo de colecta fue mayor, lo que estaría mostrando que el esfuerzo de muestreo no fue el mismo en todas las capas de agua, a esto se le podría atribuir que en esta capa se observó que el mes con mayor abundancia fue diciembre, lo cual podría ser un indicio de temporalidad. Mientras que los organismos que mueren en la columna de agua superficial podrían caer hasta llegar a la capa de agua dulce lo que estaría aportando materia orgánica dentro de la cueva y así influir en la abundancia de organismos dentro de esta.

Con menor abundancia se determinó a la capa de agua salada, ya que solo se encontraron ocho individuos, esto podría atribuirse al esfuerzo de muestreo, considerando que es la capa más profunda y que debido a las condiciones y reglas de seguridad del espeleobuceo muchas veces no se tenía el tiempo necesario para realizar más colectas dentro de esta. Así como la mayor motilidad de los organismos que habitan en ella.

Cervantes *et al.* (2002), consideraron que la biomasa del zooplancton en estos sistemas es baja y lo atribuyen al tamaño de los organismos, la alta depredación y la limitación de nutrientes. Chavez-Solis (2015), explica que los organismos que se encuentran dentro de la cueva durante la noche pueden presentar migración vertical, lo cual podría explicar algunas interacciones tróficas y dentro de este estudio que en el muestreo se colectaron algunos organismos en superficie que viven particularmente dentro de la cueva, como copépodos.

En este estudio se puede atribuir una abundancia baja y dispereja a la limitación de nutrientes ya que el cenote que tuvo una alta abundancia fue Odyssey, el cual es un cenote con entrada tipo cueva y donde habita una gran cantidad de murciélagos los cuales se pueden considerar la fuente principal de materia orgánica en la superficie. Muknal por otro lado fue el segundo cenote con mayor abundancia, lo cual podríamos atribuirlo a la presencia de materia orgánica que caía en la superficie ya que es un cenote tipo abierto y cuenta con una periferia de la entrada más grande. Bang se colocó en tercer lugar en cuanto a la abundancia, este cenote es tipo abierto, sin embargo la periferia es muy pequeña lo cual puede impedir que caiga materia orgánica en la superficie, así como, la entrada a la cueva que es una prolongación de la alberca impide que la materia orgánica se descomponga en la zona somera, y por ultimo Na'ach Wennen Ha el cual es también un cenote tipo abierto, tiene una gran influencia por manglares rojos los cuales desprenden taninos, así como, probablemente también influyo el esfuerzo de muestreo que posiblemente no fue suficiente.

Diversidad

En cuanto a la diversidad no se puede comparar realmente las tres capas de agua debido a que en la superficie se encontraron diversos Phyla coexistiendo, mientras en las capas subsecuentes únicamente se encontraron crustáceos, por lo que la diversidad alta de la capa superficial y la baja del agua salada es únicamente referida a crustáceos. En esta última capa los factores que podrían estar influyendo a que no se encuentren más organismos son la limitante de profundidad en el buceo y la gran movilidad que tienen los remipedios y ostrácodos. A diferencia de la abundancia los cenotes ubicados a los extremos del transecto fueron los que presentaron una alta diversidad.

Según Margalef (1983) la diversidad de aguas continentales va a depender de lo efímero que sea el ecosistema, esto debido a la competencia y cambios abruptos de factores físico-químicos, por lo que los organismos zooplanctónicos en este tipo de cuerpos de agua tienen rasgos de adaptación en cuanto a tamaño y ciclos de vida, lo cual hace que la plasticidad y la adaptación sea muy rápida.

Listado faunístico

La determinación de organismos fue clave para el análisis de las poblaciones dentro del SOBH, ya que a partir de esta se pudo observar la presencia de especies nuevas y nuevos registros para Quintana Roo así como, para México.

Se pudo constatar que hubo presencia de algunos organismos que en ningún momento esperábamos encontrar, como los foraminíferos. Estos organismos fueron raros debido a que, en la mayoría de sus especies, son organismos estrictamente marinos, sin embargo, se encontró la especie *Veleroninoides wiesneri*. Hengstum *et al.* (2008), y Hengstum y Scott (2011), reportaron la presencia de foraminíferos dentro de la PY, en algunos cenotes en bajas concentraciones de salinidad

Los ácaros fueron el tercer grupo más abundante y el segundo más diverso. Fueron el único grupo de arácnidos encontrados y fue el segundo más diverso, esto es debido a su capacidad de ocupar diversos hábitats, entre ellos los acuáticos, tanto dulceacuícolas como salobres o marinos, muchos de ellos requieren de un huésped para completar sus ciclos de vida y son muy buenos nadadores; algunos otros no son buenos nadadores y no requieren de un huésped para completar su ciclo de vida.

Los ácaros encontrados en su mayoría son nuevos registros de la zona, a pesar de que pudiera ser parte de la fauna incidental, los hábitos de vida, reproducción y alimentación requieren del agua o de parasitar algunas larvas que pertenecen al meroplancton, para poder de esta manera llegar a su siguiente estado de vida. Otro aspecto es que en estos cuerpos de agua es muy común que caiga hojarasca o se observe una gran influencia de sedimento, donde también habitan estos organismos. Por esta razón se explica que sean tan abundantes en cenotes.

Los nuevos registros de ácaros fueron:

Limnohalocarus cultellatus Viets, 1940 Nuevo registro para México, y para Quintana Roo.

Centrolimnesia motasi Cook, 1980 Nuevo registro para el estado de Quintana Roo, especie descrita para México del estado de Chiapas.

Género *Neumania* sp. — Nuevo registro para el estado de Quintana Roo.

Género *Malacanothrus* ca. *selvaticus* — Nuevo registro para México y para el estado de Quintana Roo.

Género *Trimalaconothrus* ca. *australis* — Nuevo registro para México y para el estado de Quintana Roo.

En cuanto a los crustáceos se observaron larvas para las que aún no se tiene la certeza de que especie de Mysida pertenecen, sin embargo lo realmente destacable es que en los primeros resultados de análisis genéticos de estos organismos únicamente encontramos individuos en esta etapa, sin haber colectado al adulto, estas larvas se encontraron dentro de la cueva en la capa de agua dulce. Se siguen analizando genéticamente para saber a qué especie pertenecen, sin embargo, el hecho de haber encontrado organismos en esta etapa juvenil podría dar información acerca de la estrategia ecológica que están llevando a cabo.

Se observaron algunos organismos tales como; anfípodo del género *Bahadzia*, Misidáceos del género *Anthromysis* y algunos del género *Stygiomysis*, que no se llegó con certeza a su dignosis, por lo que podría considerarse la propuesta de ser tentativamente especies nuevas.

También existe una *Typhlatya* sp, la cual podría estar transitando la capa de agua dulce y la capa de agua salada, ya que se encontró en ambas. Este camarón aún no se ha descrito debido a que se necesita asegurar que sea la misma especie en las dos capas de agua. De ser así entonces este crustáceo podría estar adaptando para colonizar el agua salada, ampliando su rango osmótico y así soportar altas concentraciones de salinidad; lo cual se podría explicar por la ya mencionada tendencia a la salinidad que presentó la capa de agua dulce.

CONCLUSIONES

Dados los resultados y la discusión se concluyó lo siguiente:

El listado faunístico da una visión general de la composición que tiene este ambiente. Ya que corrobora la presencia de algunas especies y deja en claro que falta mucho por registrar y determinar.

Por medio de los valores físico-químicos de las capas de agua se pudo corroborar que existen tres capas de agua, definidas por un gradiente de salinidad y temperatura, y que influye en la composición de organismos.

Los sistemas anquihalinos cuentan con poca influencia de corrientes y debido a la geología de la PY no existen ríos circundantes que le estén aportando movilidad y recambio de nutrientes, por lo que existe una baja concentración de oxígeno disuelto y la influencia de la filtración de agua, por lo tanto de solutos y la gran influencia que aporta la capa de agua salada podría explicar que la capa de agua dulce tienda a ser salobre.

Las tres capas de agua están determinadas por la fauna que las habita, ya que en la capa superficial se pudieron encontrar cuatro diferentes Phyla y dentro de la cueva lo único que se observó fueron crustáceos. Lo cual corrobora la riqueza específica de la capa superficial con 34 especies de diferentes Phyla, los cuales fueron: Arthropoda, Mollusca, Rotifera y Foraminifera. Mientras que para la capa de agua dulce se presentaron 16 especies y en la capa de agua salada tres especies de un único Subphylum que fue Crustacea.

En cuanto al número de organismos presentes la abundancia de organismos fue alta en los cenotes que se encuentran en la parte media del transecto, esto se puede adjudicar a los factores físico-químicos ya que fueron más estables dentro de estos cenotes, mientras que para los cenotes que se encuentran a los extremos, las condiciones ambientales fueron más fluctuantes lo que podría estar afectando la abundancia de los mismos. Así como el tipo de entrada al cenote, el tamaño de diámetro de esta en cada cenote y la fauna que habita fuera del agua para la presencia de materia orgánica aprovechable.

En cuanto a la diversidad, Bang mostró una $H' = 2.8$ y una $D' = 0.94$ es el cenote con mayor diversidad, seguido de Na'ach Wennen Ha con $H' = 2.05$ y una $D' = 0.86$ mostraron que a los extremos se cuenta con una mayor diversidad.

La mayoría de los ácaros, representan gran información de registros para este grupo y en cuanto a la ecología los ácaros podrían representar una parte importante en la degradación de materia orgánica para la parte superficial e incluso de transferencia de energía; los nuevos registros fueron: *Limnohalacarus cultellatus*, *Centrolimnesia motasi*, *Neumania sp.*, *Malacanothrus ca. Selvaticus* y *Trimalaconothrus ca australis*.

Los crustáceos fueron el grupo más abundante y diverso, así como, el único encontrado dentro de las cuevas, corroborando su alto grado de adaptación a diferentes ambientes, estos tienen una gran importancia en las redes tróficas y transferencia de energía hacia los demás grupos. Como parte destacada se encontró una *Typhlatya* sp la cuál es el primer registro corroborado de que un organismo podría estar compartiendo agua dulce y agua salada, y se obtuvieron larvas de Mysidae, estas son el primer registro de este estadio para el grupo y el segundo de larvas dentro de sistemas anquihalinos.

LITERATURA CITADA

- Alcocer, J, A. Lugo, M. Sánchez, E. Escobar-Briones y M. Sánchez. 1999. Bacterioplancton de cenotes y cuevas anquihalinas de Quintana Roo, Península de Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical* 47 (supl.1): 19-25.
- Alcocer, J, A. Lugo, L. Marín y E. Escobar. 1997. Hydrochemistry of waters from five cenotes and evaluation of their suitability for drinking-water supplies, northeastern Yucatan, Mexico. *Hydrogeology* 6: 293-301.
- Alvarez, F. y T.M Iliffe. 2008. Fauna anquihalina de Yucatán, *en* Crustáceos de México: Estado actual de su conocimiento. Universidad Autónoma de Nuevo León, 379-41 pp.
- Alvarez, F, T.M. Iliffe, S. Benítez, D. Brankovits y J.L. Villalobos. 2015. New records of anchialine fauna from the Yucatan Peninsula Mexico. *Checklist* 11(1): 1505.
- Aquilar-Sánchez, J. A. 2016. Modelación de la red trófica del Sistema Ox Bel Ha, Península de Yucatán, México: un enfoque topológico, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F, 91 p.
- Bautista, F. y G. Palacio. 2005. Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Mérida, Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán, México, 279 p.
- Beddows, P. 2003. *Cave Hydrology of the Caribbean Yucatan coast*; Austin, Texas, 96 p.
- Beddows, P., P. Bnachon, E. Escobar-Briones y O. Torres-Talamante. 2007. Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología Mexicana*, 83: 30-35.
- Beddows, P., P. Smart, F. Whitaker y S. Smith. 2007. Decoupled fresh-saline groundwater circulation of a coastal carbonate aquifer: Spatial patterns of temperature and specific electrical conductivity. *Journal of Hydrology*, 346: 18-32.
- Benítez, S. 2014. Variación en la estructura y composición de la fauna anquihalina del sistema Ox Bel Ha (Península de Yucatán) a través de un gradiente de distancia desde la zona litoral. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F, 69 p.
- Botello, A. 2007. Variación morfológica y genética en *Creaseria morleyi* (Decapoda: Palaemonidae) de la Península de Yucatán. Tesis de Doctorado, Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 179 p.
- Boltovskoy, E. 1965. Los foraminíferos recientes Biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica. EUDEBA: Editorial Universitaria de Buenos Aires. Argentina, 509 p.
- Bowman, T. E. 1977. A review of the genus *Antromysis* from Jamaica and Oaxaca, Mexico, and a redescription and new records for *A. cenotensis*. *Association for Mexican Cave Studies* 6: 27-38.

- Back, W. y B. Hanshaw. 1986. Differential dissolution of a Pleisocene reef in the ground-water mixing zone of coastal Yucatan, Mexico. *Geology* 14: 134-140.
- Camargo, T, L. Escalera y L. Zambrano. 2013. La estructura de la comunidad de peces en cenotes de la reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Península de Yucatán, México, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84 (3): 901-911.
- Cervantes-Martínez, A., M. Elías-Gutiérrez y E. Suárez-Morales. 2002. Limnological and morphometrical data of eight karstic system 'cenotes' of Yucatan Peninsula, Mexico, during the dry season. *Hydrobiologia* 482: 167-177.
- Cervantes-Martínez, A., M. A. Gutiérrez-Aguirre y T. Álvarez-Legorreta. 2015. Indicadores de calidad del agua en lagunas insulares costeras con influencia turística: Cozumel e Isla mujeres, Quintana Roo, México. *Teoría y Praxis*, 60-83.
- Colwell, R., C. Xuan-Mao y Jing-Chang. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85: 2717-2727.
- Cook, D.R. 1974. Water mite genera and subgenera, Michigan U.S.A. *American Entomology Institute*, 21: 1-860.
- Cook, D. R. 1980. Studies on neotropical water mites, Michigan U.S.A. *American Entomology Institute*, 31: 1-645.
- Conde-Porcuna, Ramos-Rodríguez, Morales-Baqueiro. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos; AEET (Asociación española de ecología terrestre) *Ecosistemas*, 12(2):23-29.
- Creaser, 1936. Crustaceans from Yucatan, Washington. *Carnegie institution of washington* 457:117-132.
- Cómbita-Heredia, J. O. 2013. Ácaros acuáticos (Acari: Hydrachnidiae) de Colombia, Tesis de Maestría, Facultad de ciencias, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. 141 p.
- Efron, B, y C. Stein. 1981. The Jackknife estimate of variance, Stanford University. *The Annals of Statistics*, 3 (vol.9): 586-596.
- Escobar-Briones, E., M. E. Camacho y J. Alcocer. 1997. *Calliasmata nohochi* new species (Decapoda: Caridea: Hippolytidae), from anchialine cave system in continental Quintana Roo, Mexico. *Journal of Crustacean Biology*, 17 (4): 733-744.
- Eggebrecht, E., W. Seipel. N. Grube y E. Krejci. 2001. Mundo Maya. Cholsamaj. Guatemala. 10-19 p.
- Fernández-Rubio, R., J. C. Baquero-Úbeda, D. Lorca- Fernández y J. Verdejo- Serrano. <http://aguas.igme.es/igme/publica/tiac-02/%C3%81REA%20I-1.pdf>

- Fuentes, F. y A. Massol-Deyá. 2002. Manual de laboratorios: Ecología de microorganismos, Universidad de Puerto Rico, tercera parte, 15 p.
- Fontana-Urbe, S y V. Solis-Weiss. 2011. First records of polychaetous annelids from cenote aerolito (sinkhole and anchialine cave) in Cozumel island Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies*, 73(1): 1-10.
- Gasca, R, y E. Suárez. 1996. Introducción al estudio del zooplancton marino; Quintana Roo, México, El colegio de la frontera sur (ECOSUR),711 P.
- Giuseppe, L. y T. M. Iliffe. 2002. New record of cave-dwelling mysids from the Bahamas and Mexico with description of *Palaumysis bahamensis* n. sp. (Crustacea: Mysidacea). *Journal of Natural History*, 36: 265-278.
- González, A. 1988. El plancton de las aguas continentales, Washington, D.C. 130 p.
- González-Regalado, M. L. 1989. Estudio sistemático de los foraminíferos bentónicos de las arenas sodilíferas del plioceno de Huelva: su significado paleológico. *Estudios geológicos*, 45: 101-119.
- Hoffman, A. G., López-Campos, 2000. Biodiversidad de los ácaros en México. *Fideicomiso Fondo para la Biodiversidad*, México, 230 p.
- Hughes, A., 1976. The Mites Of Stored Food And Houses, Londres, 400 p.
- Hengstum, P.J., E.G. Reinhardt, P. A. Beddows, R. J. Huang y J. J. Gabriel. 2008. thecamoebians (testate amoebae) and foraminifera from three anchialine cenotes in mexico: low salinity (1.5–4.5 psu) faunal transitions; *Foraminiferal Research*, 38: 305-317.
- Iliffe, T.M., 1993. Fauna troglobia acuática de la Península de Yucatán, Texas A&M Universidad de Galveston. *Biodiversidad Marina y Costera de México*, 673-686.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hartal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y las necesidades de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8:151-161.
- Koenemann, S, F.Schram, M Hönemann y T. M. Iliffe. 2007. Phylogenetic analysis of Remipedia (Crustacea). *Organisms, Diversity y Evolution*, 7: 33-51.
- Krantz, G. W. y E. Walter. 2009 A Manual of Acarology; University Técnica of Texas, Estados Unidos, 807 p.
- Lugo-Hup, J., J. F. Aceves-Quesada y R. Espinasa-Pereña. 1992. Rasgos Geomorfológicos Mayores de la Península de Yucatán, Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista Instituto de Geología*, 10(2): 143-150.
- Lannacone, J. y L. Alvarino. 2006. Diversidad de zooplancton en la reserva nacional de Jurin, Perú. *Ecología Aplicada*, 5: 1-2.

Llorente, J., Bousquets, J. Morrone, O. Yáñez y I. Vargas. 2004. Biodiversidad, Taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen IV, Universidad Nacional Autónoma México, Facultad de Ciencias, México 790 p.

Marquez, B., B. Marm, J.R. Díaz y L. Troccoli. 2008. Biomasa, densidad y composición zooplanctónica de la Bahía de Mochima, Venezuela. *Gayand* 72 (1): 25-67.

Mejía, L. 2008. Adaptaciones de los crustáceos a la vida subterránea, *en* Crustáceos de México: estado actual de su conocimiento, 419-458.

Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M y T- Manuales y Tesis SEA, vol 1 Zaragoza. 84 p.

Neiber, M., F. Hansen, T.M. Iliffe, B. Gonzalez y S. Koenemann. 2012. Molecular taxonomy of *Speleonectes fuchscockburni*, a new pseudocryptic species of Remipedia (Crustacea) from an anchialine cave system on the Yucatan Peninsula Quintana Roo, Mexico. *Zootaxa* 3190: 31-46.

Ordóñez-Crespo, I. y M. García- Rodríguez. 2010. Formas Karsticas comunes de los cenotes del estado de Quintana Roo (México). *Revista Electrónica de Medio Ambiente (MOA)*, 9: 15-35.

Pujante-Mora, A. M. 1997. Los artrópodos como bioindicadores de la calidad de las aguas. *Biol. S.E.A.*, 20: 277-284.

Ramírez-González, A. 2006. Ecología Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 271 p.

Reid, J. W y D. L. Strayer. 1994. *Diacyclops dimorphus*, a new species of copepod from Florida, with comments on morphology of interstitial cyclopine cyclopoids. *Journal of the North American Benthological Society*, 13: 250-265.

Rocha, C., T. M. Iliffe, J. Reid y E. Suárez-Morales. 1998. A new species of (Halicyclops) Copepoda, Cyclopoda, Cyclopidae from cenotes of the Yucatan Peninsula, Mexico, with an identification key for the species of the genus from the Caribbean region and adjacent areas, *Sarsia* 83: 387-399.

Roldan, G y J. Ramírez. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. Colombia, 399 p.

Santos –Rodríguez, P., 2011. Influencia del zooplankton en las redes tróficas de cenotes y humedales en la reserva de la Biosfera de Sian Ka'an Quintana Roo. Tesis Licenciatura, Facultad de estudios superiores Zaragoza, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. 55 p.

Solis-Marín, F y A. Laguarda-Figueras. 2010. A new species of starfish (Echinodermata: Asteroidea) from anchialine cave in the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 663-668.

Sánchez, M., J. Alcocer, E. Escobar y A. Lugo. 2002. Phytoplankton of cenotes and anchialine cave a long distance gradient from the northeastern coast of Quintana Roo, Yucatan Peninsula. *Hydrobiologia* 467: 79-89.

Suárez-Morales, E. y E. Rivera-Arriaga. 1998. Hidrología y fauna acuática de los cenotes de la Península de Yucatán. *Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 48: 37-47.

Suárez-Morales, E., J.W. Reid, T.M. Iliffe y F. Fiers. 1996. Catálogo de los copépodos (Crustacea) continentales de la Península de Yucatán, México. CONABIO/ ECOSUR 298 p.

Schmitter-Soto, J. J., F. A. Comín, E. Escobar-Briones, J. Herrera-Silveria, J. Alcocer, E. Suárez-Morales, M. Elías –Gutiérrez, V. Díaz-Arce, L.E. Marín y B. Steinich. 2002. Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467: 215-228.

Stock, J. H., T. M. Iliffe y D. Williams. 1989. The concept “Anchialine”. *Stygologia* 2 (1/2).

Schuster, R. H y P. W. Murphy. 1991. The Acari. Reproduccion, development and life-history strategies. UK. Springer-science +Bussnies media, B.V. 554 p.

Torres-Talamente, O., J. Alcocer, P. Beddows, E. Escobar-Briones y A. Lugo. 2011. The key role of the chemolimnion in meromictic cenotes of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Hydrobiologia*, 677: 107-127.

Yañez- Mendoza, G., E. Zarza-González y L M. Mejía-Ortiz. 2007. Sistemas anquihalinos. Universidad de Quintana Roo. Biodiversidad acuática de la isla de Cozumel 3: 0-00.

<http://www.tamug.edu/cavebiology/index2.html>