



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

Facultad de Ciencias

**Aspectos biológicos de *Xibalbanus* sp. y su relación con
la variabilidad de las características del agua
subterránea.**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

Daphne Montserrat Arriaga Vélez



DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Luis Manuel Mejía-Ortíz

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de datos del Jurado

I. Datos del alumno

Arriaga
Vélez
Daphne Montserrat
55 54 68 39 60
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
No. de cuenta 31303310-8

II. Datos del asesor

Dr.
Mejía
Ortíz
Luis Manuel

III. Datos del sinodal 1

Dr.
Álvarez
Noguera
Fernando

IV. Datos del sinodal 2

Dr.
Villalobos
Hiriart
José Luis

V. Datos del sinodal 3

M. en C.
Chávez
Solís
Efraín

VI. Datos del sinodal 4

Dr.
Alcocer
Durand
Javier

VII. Datos del trabajo escrito

Aspectos biológicos de Xibalbanus sp. (Crustácea: Remipedia) y su relación con la variabilidad de las características del agua subterránea
62 pp.
2022

Agradecimientos.

Primero que nada, a mi mamá Patricia Vélez, por confiar en mí, por escucharme cuando le hable de arañas, plantas, murciélagos, tiburones, geomorfología y ahora remipedios. Por apoyarme cuando le dije que me quería ir al punto más al oeste del país a vivir, también por poner todo de ella cuando le dije que quería bucear en cuevas, por no rendirse nunca, por confiar en mí cuando ni yo lo hacía, pero sobre todas las cosas por nunca cortarme las alas y enfrentarse a todo para que no nos faltara nada. ¡Es complicado, pero lo estamos logrando! A mi hermano Alejandro por aterrizarme cuando lo necesito, por apoyar mis locuras, preocuparse por mí y hacerme ver las cosas desde otra perspectiva. A mi boli y mi tía por ser mi refugio en esos primeros meses en el Caribe. A Manuel y Ricardo por ser la familia que elegí, las comidas de gordos no serían lo mismo sin ustedes, gracias por siempre apoyar e impulsarme.

A mi tutor, el Dr. Luis Manuel Mejía Ortiz por tenerme paciencia, darse tiempo para poder adentrarnos en la selva e ir a Chempita, por mostrarme un área de la cual yo desconocía prácticamente todo, por esas charlas y recomendaciones para poder adaptarme en la isla, pero lo más importante por permitirme descubrir las aguas subterráneas y el espeleobuceo que de otra forma no hubiera experimentado ¡Infinitas gracias!

Agradezco a los sinodales del jurado por sus observaciones y consejos tan atinados, pero especialmente al M. en C. Efraín Chávez Solís por esa empatía que me mostraste durante todo el proceso de este proyecto y por darme ese empujoncito de confianza en el momento adecuado y al Dr. José Luis Villalobos Hiriart por tan meticulosa revisión y todas las observaciones que me hicieron ver que se podía mejorar, yo sé que no se la puse fácil.

A German Yáñez por acompañarnos en cada muestreo, tu guía y apoyo fue fundamental en la realización de esta tesis, sin tu ayuda no hubiera sido posible llegar tan lejos.

A Eduardo por motivarme cuando ya no podía, por volverse investigador “experto” en remipedios, lector incansable del mismo documento una y mil veces, por cuidarme a distancia y en persona, gracias por ser mi persona por tantos años.

A todos mis amigos de Cozumel, sin ustedes mi estadía en esa isla tropical no hubiera sido lo mismo, por dejarme compartir con ustedes y sus familias, fueron parte importante en mi alegría y aprendizaje. A mis amigos de mis diversas etapas en la UNAM, Mike, Lalo, Fernanda, Ana Fer, Helena, Pacheco, Saul, Sebastián, Federico, gracias por compartir un cachito de ustedes conmigo.

A la UNAM por abrirme las puertas al conocimiento. Brindarme oportunidades y experiencias académicas, de esparcimiento y florecimiento cultural. A los profesores que transmiten su pasión por el conocimiento, que aportan esa disciplina tan necesaria en la vida sin dejar de ser unas maravillosas personas; Yussim, Marilú⁺, Juan, Cosme, Adrián A., Erick García, Fernando Calderón y Dra. Navarajo⁺ ¡GRACIAS!

*Esta tesis está dedicada a mi abuelo **Salvador Vélez** que gracias al esfuerzo de toda su vida nos dio las herramientas para salir y conocer otras perspectivas.*

Tu partida nos abrió ventanas y puertas para una vida mejor, pero nos rompió el corazón.

- I did it my way-

ÍNDICE.

II. RESUMEN	6
III. INTRODUCCIÓN	7
IV. JUSTIFICACIÓN.....	9
V. OBJETIVOS	10
VI. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	10
VII. ANTECEDENTES	11
SUELO KÁRSTICO	11
SISTEMAS ANQUIHALINOS	12
DINÁMICA POBLACIONAL.....	14
VIII. ÁREA DE ESTUDIO.....	18
ISLA COZUMEL	18
CENOTE CHEMPITA.....	20
IX. MATERIAL Y MÉTODOS	24
TRABAJO DE CAMPO.....	24
ANÁLISIS DE DATOS	27
X. RESULTADOS.....	28
COLECTA DE ORGANISMOS.....	28
DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA CUEVA.....	30
ANÁLISIS DE LA CAPA MARINA.....	32
INTEGRACIÓN DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES Y LA PRESENCIA LOS REMIPEDIOS.....	36
XI. DISCUSIÓN.....	37
XII. CONCLUSIONES.....	40
XIII.LITERATURA CITADA	42

I. Resumen

La Península de Yucatán se caracteriza por ser una plataforma de carbonato de calcio o karst, esto se demuestra por la ausencia de ríos y cuerpos de agua superficiales. Debido a la porosidad de este tipo de suelos el agua se filtra formando un acuífero subterráneo: estas características hacen posible la formación de los localmente conocidos “cenotes”, que pueden ser de agua dulce (captación de agua de lluvia), saladas (por penetración de agua marina) o ser anquihalinos (aguas continentales que tienen interacción con las aguas marinas), estos últimos tienden a generar sistemas con condiciones muy particulares, por lo que los organismos que ahí habitan, poseen un alto grado de especialización a estos escenarios ambientales y suelen ser formas endémicas; tal es el caso de los remipedios, cuya extracción del sitio representa un daño a las poblaciones con pocos individuos.

Se analizó la presencia-ausencia de *Xibalbanus cf. cozumelensis* y se obtuvieron los parámetros fisicoquímicos a través de la columna de agua en el cenote Chempita en isla Cozumel, Quintana Roo, durante los meses de diciembre 2019 a marzo 2020. En la capa de agua marina se obtuvieron 7 registros de presencia, la talla aproximada de los organismos se encuentra en el rango de 23.3 - 56.6mm, se tomaron fotografías y videos evitando la extracción de los remipedios, se encontraron entre los 30 y 33 m de profundidad. Se analizó la relación que tenían *Xibalbanus cf. cozumelensis* y las variables ambientales: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto (OD) y profundidad; se encontró la relación respecto a salinidad - presencia, además se registró de forma continua la temperatura en el sitio de muestreo, donde la variación fluctúa en el rango de 23.07 a 23.19°C. El mes de mayor incidencia fue diciembre con 4 ejemplares, marzo con 2, enero con 1 y durante el mes de febrero no se encontraron organismos, este mes fue el que presento variaciones ambientales pronunciadas.

II. Introducción

Los estudios poblacionales son herramientas de gran importancia para comprender las dinámicas que tienen las diferentes especies que integran una comunidad en las escalas espaciotemporales, esta línea de investigación se ha desarrollado desde inicios del siglo pasado especialmente en plantas y animales sombrija (Fleishman et al., 2000), pero los análisis de especies raras o con bajas densidades poblacionales han sido poco abordados. En un principio los alcances de los impactos antropogénicos hacia estas formas no fueron tan frecuentes por el acceso difícil a los ambientes que ocupan (Rzedowski y Rzedowski, 1993; Castellanos, 2002; Abreo y Soto, 2003); sin embargo, con el crecimiento poblacional humano y las demandas de recursos como el agua; diversas especies se han visto amenazadas por la perturbación y eventual pérdida de su hábitat, dentro de los más perjudicados han sido las especies raras o con poblaciones pequeñas, ya que pocos especialistas se dedican a ellos, y por ello la necesidad de estudios poblacionales se hizo cada vez más evidente (Liévano-Beltrán y Simões, 2021).

Las cuevas presentan cierto grado de complejidad para el acceso, desplazamiento y muestreos, por lo que son un ejemplo de la necesidad de estudios de biodiversidad y caracterización ambiental; del mismo modo que las cuevas secas, las semi secas y las subacuáticas, estas últimas son a las que haremos referencia en este trabajo. Una forma de clasificarlas es por el tipo de agua que presentan (dulceacuícola, salobre, marina, sulfurosas y anquihalinas). Los organismos que habitan los sistemas subterráneos se han agrupado en 3 categorías: 1) troglobios, cuya forma de vida se restringe a las cuevas debido a que presentan adaptaciones altamente especializadas; 2) troglófilos, organismos que pueden vivir dentro de las cuevas, pero no se restringen exclusivamente a ellas. Pueden presentar ligeras modificaciones morfológicas al ambiente estigobio y 3) Troglóxenos, organismos que pueden llevar a cabo una parte de su ciclo de vida en la cueva, pero se encuentran en mayor medida en la superficie.

Los ambientes subterráneos que caracterizan a la Península de Yucatán se presentan totalmente inundados y derivaron de su cercanía a la costa en épocas geológicas pasadas. Algunos pueden presentar masas de agua con diferente salinidad, por lo que se les ha denominado ambientes anquihalinos, y en ellos habita fauna endémica para la Península y por supuesto para el país (Angyal et al., 2020). Muchos de estos ambientes proporcionan condiciones específicas a los organismos que presentan una alta especialización para asegurar su supervivencia y por consiguiente son considerados excelentes indicadores para conocer el estado de salud del ecosistema. Los remipedios constituyen uno de estos grupos de organismos, que en su mayoría habitan sólo en la sección marina de los ambientes anquihalinos con excepción de *Speleonectes kakuki* que se encuentra en una cueva de agua completamente marina (Daenekas et al., 2009) y *Speleonectes epilimnius* que se encuentra en las aguas superficiales de San Salvador, Bahamas (Carpenter, 1999). Los remipedios son crustáceos cavernícolas, cuyas poblaciones son poco comunes y los estudios alrededor de ellos, aunque han sido prolíficos desde que se descubrió la clase, aún son necesarios para comprender mejor sus aspectos ecológicos y poblacionales.

Aunado a lo anterior, en las últimas décadas tanto la Península de Yucatán como la isla de Cozumel, han presentado un incremento exponencial en sus desarrollos urbanos para satisfacer la demanda de servicios para el turismo y para la población creciente, que en conjunto con la deforestación, la gran cantidad de desechos disueltos que vierten a los mantos freáticos y otros impactos que se generan por las actividades humanas, ejercen una presión en constante aumento y sin precedentes, sobre los que desencadenarán en un futuro inmediato repercusiones en la integridad ambiental y biótica del ecosistema cavernícola, y su eventual pérdida, también es necesario examinar a detalle las alteraciones ocasionadas por el cambio climático y como afectan a estos sistemas semi- aislados (Mammola et al., 2019).

III. Justificación.

Gran parte de los estudios acerca de los remipedios está enfocado en estudios morfológicos y filogenéticos (Yager, 1981; Ito y Schram, 1988; Fanenbruck y Harzsch, 2005; Koenemann et al., 2006; Boxshall, 2007; Neiber et al., 2011; Kubrakiewicz et al., 2012; Lozano-Fernández et al., 2019). Dada la dificultad que implica observar a estos organismos en su ambiente natural no se han hecho estudios poblacionales hasta la fecha. El objetivo del presente trabajo es conocer la estructura poblacional de forma temporal de los remipedios *Xibalbanus* cf. *cozumelensis* habitantes en el cenote Chempita.

IV. Objetivos

Objetivo general

- Registrar la dinámica de las principales variables fisicoquímicas del sitio donde se encuentran las poblaciones de *Xibalbanus cf. cozumelensis*.

Objetivos particulares.

- Evaluar la abundancia y tallas de *Xibalbanus cf. cozumelensis*
- Registrar y relacionar la presencia-ausencia de los organismos, con los parámetros fisicoquímicos durante la temporada de diciembre de 2019 a marzo de 2020.

V. Pregunta de investigación

¿Cómo varía la abundancia y la estructura de las tallas de *Xibalbanus cf. cozumelensis* en el Cenote Chempita, en el periodo de diciembre 2019 a mayo 2020?

VI. Antecedentes

Suelo kárstico

El karst es definido como una superficie terrestre que está conformada generalmente por rocas carbonatadas o dolomitas y cuyas variables topográficas se generan a partir de procesos de disolución de la roca, que originan hundimientos, fisuras, drenajes subterráneos y formación de cuevas (U.S. EPA., 2002; Beddows et al., 2007). Los procesos que posiblemente actúan sobre la isla de Cozumel son similares a los descritos por White (2002): efectos de cambios en el nivel del mar, espeleogénesis kárstica y procesos costeros, que reflejan la evolución del paisaje como resultado del movimiento de agua subterránea por una matriz porosa que genera conductos de disolución.

El proceso de disolución inicia cuando el agua de lluvia parcialmente ácida por la absorción de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, va haciendo la roca más porosa, generando conductos y fisuras que se ensanchan por la constante actividad pluvial y la circulación subterránea del manto freático; estas acciones generan cavidades subterráneas. En cambio, cuando las cuevas se encuentran secas, ocurre una acumulación de minerales disueltos de la roca que inician la formación de espeleotemas. El conjunto de estos paisajes nos muestra la evolución kárstica del sitio (Beddows et al., 2007).

Sistemas anquihalinos

El término anquihalino fue acuñado por Holthuis (1973) para referirse a sistemas sin conexión superficial con el mar y cuyas aguas fluctúan con las mareas, posteriormente se modifica de forma que los sistemas anquihalinos son el resultado de la interacción entre suelo kárstico o volcánico y el agua subterránea, que se extienden hacia el interior y tienen una interacción directa o indirecta con agua marina (Bishop et al., 2015). Las entradas a estos sistemas pueden ser por una caverna seca o una ventana de agua dulce.

Generalmente las aguas de los sistemas anquihalinos presentan una o más diferenciaciones fisicoquímicas, tales como: haloclina (diferencia entre la salinidad de forma abrupta), termoclina (diferencia generada por la temperatura), profundidad, visibilidad y contenido de ácido sulfhídrico (Brankovitz et al., 2017; Calderón-Gutiérrez et al., 2017; Chávez-Solís et al., 2020)

En México se emplea la palabra cenote que proviene del maya “d’zonot”, para referirnos a cavidades u hoyos en el suelo que suelen presentar un depósito de agua y se definen como “cuerpos de agua aislados superficialmente, en el lecho de rocas solubles en agua (calizas, dolomitas o halitas), con una conexión superficial variable y pueden o no presentar una conexión con corrientes de agua subterráneas” (Gerrard, 2000; Beddows et al., 2007). Los “cenotes” son abundantes en México, especialmente en la Península de Yucatán, en donde algunos de ellos corresponden con sistemas anquihalinos. Este acuífero subterráneo representa la fuente de agua dulce para consumo humano dentro de la región, aunado al valor económico, cultural e histórico para los habitantes. Por sus características geomorfológicas, hídricas y fisicoquímicas, los cenotes se han clasificado de diversas formas, las más comunes son por su morfología, en la que se indica el grado de conexión con la superficie por la extensión del techo colapsado (tipo cántaro, abiertos con paredes verticales, antiguos, secos y los del tipo cueva), el grado de conexión con otros cuerpos subterráneos (lénticos y lóticos) (Beddows et al., 2007), la presencia de espeleotemas refuerza la influencia de los procesos costeros antiguos (regresión y transgresión marina) sobre los sistemas cuando se encontraban secos y debido al incremento en el nivel del mar, ahora se encuentran en galerías subterráneas inundadas (Yañez Mendoza et al., 2007; Culver y Pipan,

2010; Trejo-Pelayo 2020). Debido a las características geológicas estos sistemas son más sensibles a la contaminación, debido a la alta permeabilidad del suelo, resultado de la interacción de agua de la lluvia ligeramente ácida por la absorción de CO₂ atmosférico y la constante intrusión de agua marina, que permite la formación de cavidades aéreas dentro del suelo kárstico, como fisuras o grietas en el suelo.

La formación tan particular de estos sitios y su belleza paisajística genera una derrama económica en la Península de Yucatán debido a que se están convirtiendo en atractivos turísticos: son sitios que se ocupan para actividades recreativas además de consistir una parte importante en el misticismo de la cultura maya. El problema aparece cuando se incrementan los coliformes fecales, los desechos sólidos, o se crea una capa aceitosa en la superficie del agua de los cenotes abiertos, resultado del uso de bloqueadores solares o bronceadores (Reul et al. 2015).

La importancia de los cenotes radica en que son reservorios de agua, pero también son sistemas muy biodiversos (Calderón-Gutiérrez et al., 2017), ya que la fauna que habita en ellos presenta caracteres valiosos para el estudio de los cambios adaptativos a los sistemas subterráneos, procesos de evolución y el alto nivel de endemismo (Trontelj, 2019).

Dinámica poblacional

Las poblaciones son el conjunto de individuos que habitan en un sitio durante un periodo determinado y que tienen comportamientos ecológicos equivalentes. A partir de la recopilación de estos datos de presencia se pueden realizar análisis sobre la distribución, si existen dinámicas anuales o estacionales, la relación existente entre el organismo y el medio que lo rodea. Para definir una población se pueden utilizar variables estructurales como son: abundancia, densidad, talla, distribución, proporciones de sexos y edades (Begon et al., 2006). La importancia de los estudios poblacionales radica en la creación de una escala medible a través del tiempo sobre la situación de una población, es decir nos permite conocer los cambios a través del tiempo y espacio.

La ecología de poblaciones se encarga de estudiar la dinámica de los organismos de la misma especie que forman un grupo. Estas poblaciones se desarrollan en condiciones similares; sus características, como la interacción entre poblaciones, los cambios en el número de individuos a través del tiempo y su historia de vida, están relacionadas con factores bióticos y abióticos que las rodean. La dinámica poblacional está basada en: categorías de edad, proporción de sexos, densidad poblacional, mortalidad, natalidad, esperanza de vida, fecundidad, la estructura en la que se organiza una población y sus categorías (Krebs 1989; Begon et al., 2006).

Se consideran especies raras a aquellas cuyas abundancias se encuentran limitadas de forma natural y presentan una distribución geográfica restringida (Sekercioglu et al., 2008). Sus poblaciones se clasifican en tipos: por distribución geográfica (amplia o restringida), de hábitat (amplio o limitado) y demográfica (alta o baja). También es importante considerar la historia evolutiva, para saber si se encuentran asociadas a una disminución de población reciente, por modificaciones de sus condiciones ambientales o por un origen evolutivo antiguo (Esparza-Olguín, 2004)

Las características de las especies raras presentan requerimientos particulares de:

Hábitat: requieren condiciones muy específicas para poder mantener alguna propiedad de su ciclo de vida, alimentación o asociaciones con otros organismos. Por lo mismo, son altamente sensibles

a cambios en los parámetros ambientales como pueden ser: pérdida de cobertura vegetal, cambio de uso de suelo, contaminación, cambio climático y calentamiento global (Mammola et al., 2019).

También les afectan condiciones ecológicas y biológicas, como, competencia: debido a la gran especialización de hábitat presentan poca tolerancia al estrés ambiental y habilidades de competencia intraespecífica limitadas; alta sensibilidad a enfermedades, son un problema muy grave ya que presentan una mayor capacidad de adaptación ambiental, por lo cual las formas nativas son desplazadas e incluso llevadas a la extinción (Schmitter-Soto et al., 2002).

Biología reproductiva: en la mayoría de los casos presentan condiciones muy específicas para reproducirse y las tasas de fecundidad suelen ser bajas. Las modificaciones de variables ambientales pueden generar estrés, modificando sus comportamientos reproductivos, lo cual favorecerá el incremento en los organismos no reproductivos, que a la larga ocasionará que exista un incremento de poblaciones con más organismos viejos que limita el intercambio genético con organismos de otras poblaciones e incrementa el riesgo de enfermedades o pérdidas por patógenos (Gitzendanner y Soltis, 2000; Martínez-Palacios et al., 1999; Gillieson, 1996).

Poblaciones aisladas, son aquellas con una cantidad limitada de organismos, cuyo factor restrictivo es el nicho en el que se encuentran: pueden estar restringidos por una barrera geográfica o ecológica. De este modo, los factores ambientales forman un papel relevante en la caracterización de estas poblaciones.

Clasificación de los Remipedios.

Remipedia (Yager, 1981)

Nectiopoda (Schram, 1986)

Xibalbanidae (Olesen, Meland, Glenner, van Hengstum e Iliffe, 2017)

Xibalbanus (Hoenemann, Neiber, Humphreys, Iliffe, Li,
Schram y Koenemann, 2013)

Los crustáceos son los organismos más abundantes en los sistemas anquihalinos con más de 500 especies, debido a la diversidad morfológica y adaptativa que poseen (Sket, 2019): resistencia a condiciones de anoxia y respuestas metabólicas para un mejor uso de ATP, reservas energéticas, respuestas metabólicas (Hervant y Malard, 2019). Uno de los recursos limitantes en la sección profunda de las cuevas es el alimento, ya que no hay materia orgánica en descomposición como en la parte superficial del sistema, pero la remineralización del carbono en los sedimentos genera un nicho altamente aprovechable para tapetes bacterianos cuya composición está basada en bacterias nitrificantes, oxidantes del metano y metanogénicas (Pakes y Mejía-Ortíz, 2014; Brankovitz et al., 2017).

La clase Remipedia se descubrió en una cueva anquihalina de Bahamas en 1979 (Yager, 1981) y a la fecha se han descrito 29 especies, 12 géneros y 8 familias (Ballou et al., 2021); se han encontrado en cuevas con una capa de agua marina de las regiones subtropicales (Mejía-Ortíz, 2019), donde los niveles de oxígeno son cercanos a la hipoxia (3 a <1 mg·L) de acuerdo con los valores mostrados por Torres-Talamante et al. (2008). Presentan una estructura corporal simple; su cuerpo está dividido en dos regiones: la cefálica, que presenta un escudo, un par de salientes frontales sensoriales (preanténulas); antenas birrameas, maxilípedos prensores, maxilulas hipodérmicas con capacidad de inyectar veneno; y la torácica, que consta de segmentos homónomos cada uno con un par de apéndices laterales aplanados que se mueven de forma metasincrónica para desplazarse (Olesen et al., 2017); son hermafroditas y se sabe que los gonoporos femeninos se encuentran en la somita 7 y los masculinos en la 14; tienen desarrollo de larva naupliar lecitotrófica, las tallas van de 9 a 45 mm.

Los remipedios son considerados depredadores tope en los ecosistemas que habitan, debido a su capacidad de producir veneno, son carroñeros, complementan su dieta con materia orgánica obtenida por quimiosíntesis, además de pequeños camarones misidos y del género *Typhlatya* (Schram, 1986; Bottrell et al., 1991; Pohlman et al., 1997). En México se encuentran registradas tres especies *Xibalbanus tulumensis*, *X. fuchscockburni* y *X. cozumelensis*, y solo una de ellas (*X. tulumensis*) se encuentra considerada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como una forma en peligro de extinción, debido al rango de distribución, tamaño de las poblaciones y la sensibilidad de los ambientes anquihalinos a la contaminación; pese a que *X. fuchscockburni* y *X. cozumelensis*

actualmente son endémicas de una sola cueva (Brusca y Brusca, 2003; Koenemann et al., 2007; Kubrakiewicz et al., 2012; Pakes y Mejía-Ortíz, 2014; Sket, 2019).



Figura 1. *Xibalbanus cf. cozumelensis*. Imagen proporcionada por Mejía- Ortíz

Los trabajos que existen sobre los Remipedios están enfocados en la descripción de especies nuevas (García-Valdecasas, 1984; Schram et al., 1986; Yager y Humphreys, 1996; Daenekas et al., 2009; Olesen et al., 2017), cómo recolectar y procesarlos (Yager, 2016; Iliffe, 2018), la supervivencia en cautiverio y su comportamiento (Koenemann et al., 2007), descripciones sobre el sistema venoso (Reumont et al., 2014), biología reproductiva (Koenemann et al., 2009; Kubrakiewicz, 2012), relaciones filogenéticas, especialmente su posición respecto a los Hexápodos (Ertas et al., 2009; Reumont y Burmester, 2010; Neiber et al., 2011; Reumont et al., 2012; Hoenemann et al., 2013; Lozano-Fernández et al., 2019), pero existen pocos estudios enfocados al conocimiento ecológico de esta clase (Carpenter, 1999). Entre las limitantes para su estudio está en primer lugar el sitio en donde viven, pues existen ambientes anquihalinos cuya alta complejidad de acceso dificulta las exploraciones y el conocimiento de estos sitios (Pakes y Mejía-Ortíz., 2014). Todas esas características, tanto biológicas como ambientales, dificultan la supervivencia de estos crustáceos en cautiverio, lo cual es una limitante para el monitoreo de sus historias de vida (Koenemann et al., 2007). En condiciones de laboratorio sólo se ha logrado una supervivencia de organismos por un máximo de dos meses. Pero una de las principales restricciones es que son especies raras, con tamaños de población muy reducidos y con pocas probabilidades de observar in situ en las diferentes cuevas; sólo en el cenote Crustacea se cuenta con un registro constante de estos organismos y por consecuencia un tamaño de población destacable (Koenemann et al., 2007; Neiber et al., 2012).

VII. Área de estudio

Isla Cozumel

La Isla de Cozumel se encuentra a 17.5 km de la costa de Quintana Roo, sus coordenadas extremas son 20°36'15" Norte, 20°16'12" al Sur, 86° 43'48" Este y 87°20'48" al Oeste, tiene una extensión de 647.33 km² (CONABIO, 2009) y una altitud promedio de 5 msnm, la parte más elevada de la isla se encuentra a 15 msnm (Frausto-Martínez et al. 2018).

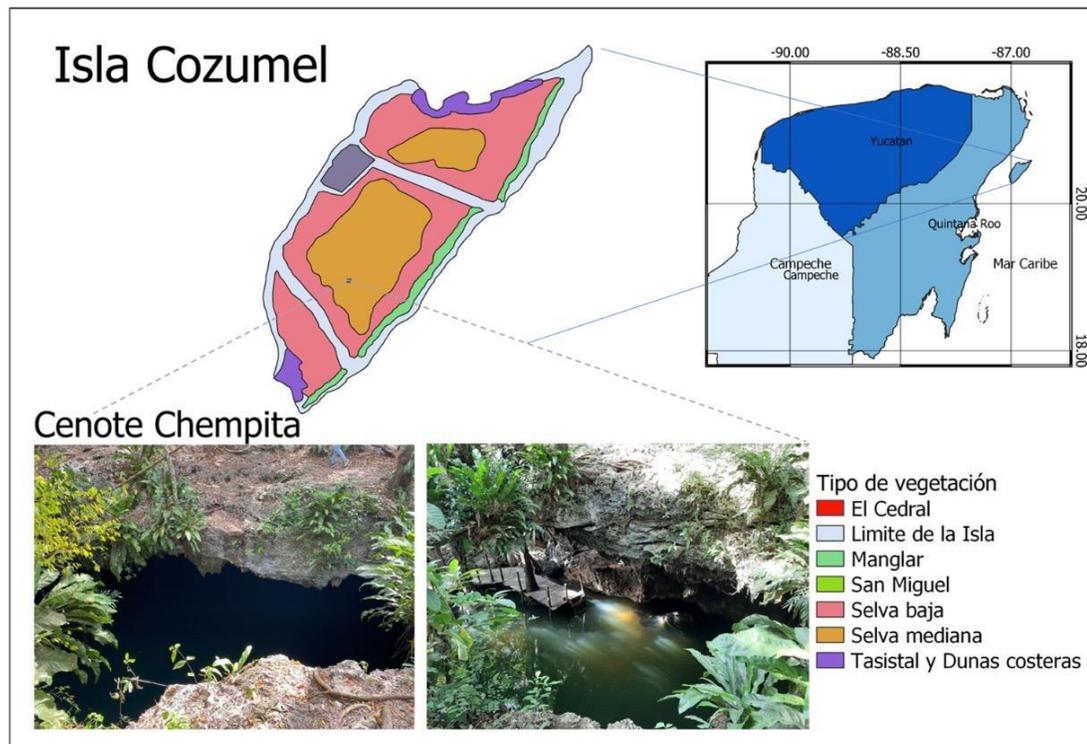


Figura 2. Localización isla Cozumel y vista aérea del cenote Chempita.

Cozumel pertenece a la provincia geológica “Plataforma de Yucatán” de manera específica a la formación “Carrillo Puerto” en la cual predominan las calizas y calcarenitas, el contenido fosilífero está representado por moluscos lamelibranquios y gasterópodos (SGM, 2011). El suelo es en su mayoría de calcita con un bajo contenido de magnesio, dando lugar a suelos tipo Rendzina

cuyo espesor no es mayor a 30 cm, pero ocupa el 70.59% de la superficie, otras capas de suelo son Solonchak con 12.05%, Gleysol con 6.11%, Arenosol 9.84% y Hortisol con 1.40%. Las glaciaciones del cuaternario, específicamente Iliniano y Wisconsiniano, influyeron fuertemente en la formación de capas de calcita por exposición a un clima semiárido (Spaw, 1978; Instituto de ecología, 1998; Valera-Fernández et al., 2020). Las unidades geológicas que encontramos son: el sistema terciario Plioceno tipo caliza (57.81%), el sistema Terciario superior tipo caliza (33.58%), sistema Cuaternario lacustre (5.98%) y el sistema cuaternario litoral (2.61%). (Pacheco y Vega-Vera, 2007; CONABIO, 2009; SGM, 2011).

Debido a la alta permeabilidad del suelo no existen cuerpos de agua superficiales, las fuentes de agua potable en Cozumel provienen del manto freático y los reservorios que forman los cenotes (SGM,2006), también se encuentran: 4 especies de mangle y dunas costeras (CONABIO, 2009).

El régimen climático de Cozumel se encuentra dentro del Trópico de Cáncer, esta influido por la celda anticiclónica Bermuda-Azores y las corrientes del canal de Yucatán, por lo cual se clasifica en la escala de Köppen como clima tropical húmedo con lluvias en verano (Am), presenta una estación de sequía en los meses de abril y mayo, mientras que en verano se incrementa la cantidad de lluvias por acción de los vientos alisios (durante los meses de febrero a septiembre), en conjunto con el paso de ondas tropicales la cantidad de lluvias incrementa. Al inicio del otoño el régimen de lluvias se ve alterado por la presencia de frentes fríos, que modifican la velocidad de los vientos y generan lluvias invernales, estas características prevalecen hasta finales de la primavera. La isla presenta una temporada de huracanes que va de julio a octubre con la máxima incidencia en el mes de septiembre (CONAGUA, 2012)

La temperatura promedio anual es mayor a 25°C, los meses más cálidos corresponden a los meses de mayo a agosto y oscilan entre 34-36°C, por el contrario, las temperaturas mínimas son de 16-19°C durante los meses de diciembre a febrero. La precipitación anual es de aproximadamente 1000 milímetros, presenta una sequía intraestival en agosto durante la denominada “canícula”. Los meses de sequía se presentan durante marzo- abril con 45 mm y los máximos de precipitaciones son de junio a septiembre y octubre (CONAGUA, 2012).

En la vegetación, se puede encontrar selva mediana subcaducifolia con una altura de 8-20 m *Manilkara zapota*, *Bursera simaruba*, *Calliandra belizensis*, *Cedrela odorata*, *Metopium brownei*, *Vitex gaumeri*, *Caesalpinia gaumeri*, *Ceiba aesculifolia*, *Lysiloma latisilicua* y *Masticho dendrongaumeri*., así como selva baja subcaducifolia *Enriquebeltrania crenatifolia*, *Pithecellobium mangense*, *P. dulce*, *Diospyros nicaraguensis* y los elementos trepadores, *Brassava lanodosa*, *ramma nitida*, *Aporocactus flagelliformis*, *Selenicereus testudo*, *Dioscorea floribunda* (Miranda, 1959, citado en: Instituto de Ecología (1998)).

Cozumel es un destino turístico que cuenta con patrimonio cultural y natural, la fuente más importante de capital económico es aportada por el turismo, incluyendo el arribo de cruceros. En Cozumel se ofrecen diferentes propuestas ecoturísticas y turismo de aventura, con actividades como: buceo para observar una sección del arrecife mesoamericano, espeleobuceo, snorkel, senderismo y sky surf (SECTUR, 2013). Uno de los atractivos destacados de la isla es realizar espeleobuceo en los cenotes, dentro de los cuales encontramos crustáceos y equinodermos endémicos (Calderón-Gutiérrez et al., 2017).

Cenote Chempita

El cenote Chempita se ubica dentro del ejido Villa Cozumel (20°34.683'N 86°97.562'W) en la región central de la isla (Fig. 2), a 7 metros sobre el nivel del mar (Trejo-Pelayo, 2020). El cenote Chempita en la parte más ancha mide 29 metros y en su parte más larga tiene 79 m de longitud; se encuentra rodeado de vegetación tipo selva media subperennifolia, las calizas que se observan son blancas-amarillentas, tienen gasterópodos incrustados, es habitado por una colonia de murciélagos *Artibeus jamaicensis* que residen en el techo y las paredes (Rivas-Camo et al., 2020). El lente de agua dulce es de color verdoso con poca visibilidad de 1-3 m como resultado de la actividad fotosintética. Se pueden observar pequeños peces y tortugas, en la zona fótica, el fondo es lodoso, en la sección afótica posterior a la haloclina se logran observar nubes de sulfuro y el sedimento es tipo limoso, también hay desarrollo de geofomas y los organismos que predominan son crustáceos: isópodos, anfípodos, decápodos y remipedios (Mejía-Ortíz et al., 2017).

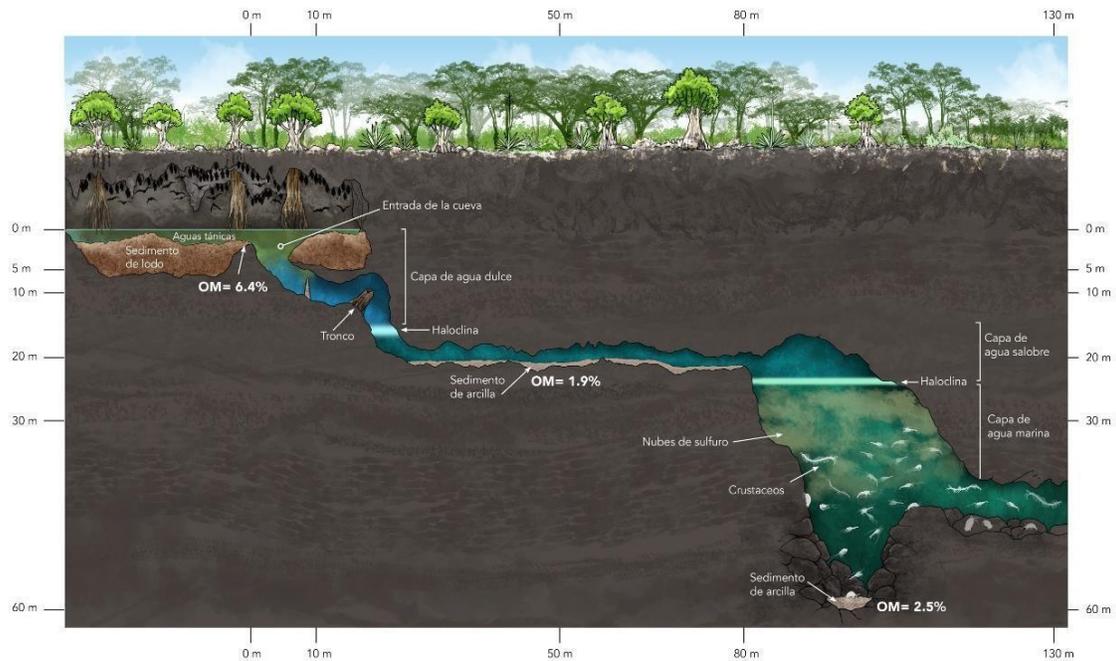


Figura 3. Esquema del cenote Chempita en corte lateral. Imagen de Mejía-Ortíz.

Chempita tiene una plataforma en la que la temperatura promedio fue de 24°C (en diciembre y febrero fue de 25°C), el acceso a la cueva es por un túnel de aproximadamente 15 m de largo, en cuya entrada se encuentra un tronco que inicia un descenso de 2 a 10 m, en esta sección de la cueva el agua es oscura por la presencia de taninos (correspondientes a la degradación de la materia orgánica de la superficie), el suelo es de tipo lodoso con abundante cantidad de hojarasca. El recorrido se realiza con una visibilidad limitada en la parte superficial (0-6 metros), al pasar la haloclina, cuya profundidad promedio en ese momento era de ± 24 metros y donde la salinidad se encontraba a 37 UPS, la visibilidad se incrementa a más de 30 m. En los túneles que se recorren para llegar a la galería donde se realizaron las recolectas, se observaron grandes bloques de roca caliza posiblemente producto del desprendimiento del techo, de manera intermitente se encontraron nubes de sulfuros, la profundidad máxima reportada es de 50m (Mejía-Ortíz, et al.,2017).

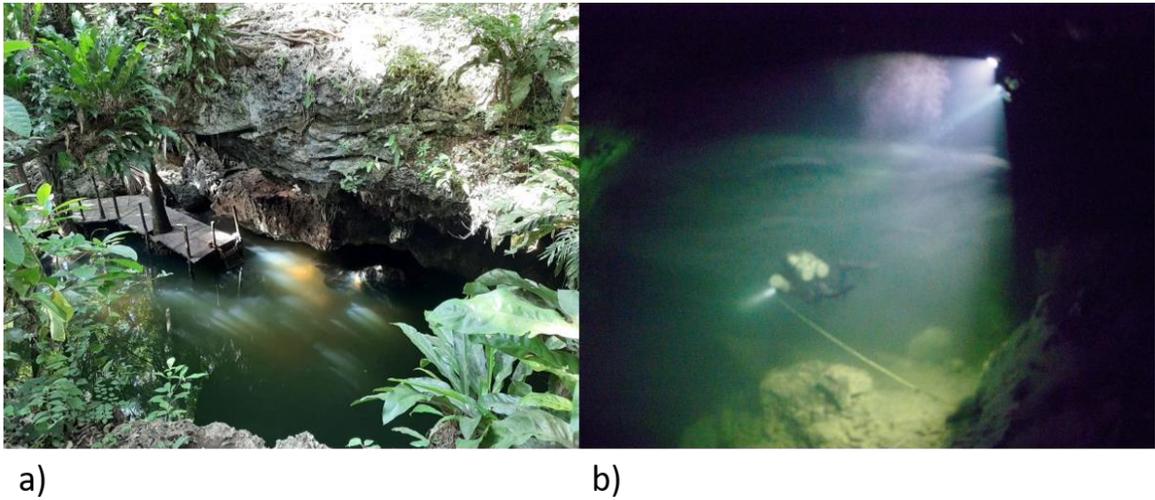


Figura 4. Vista exterior e interior del cenote Chempita. a) Vista superior izquierda del cenote b) Nubes de anhídrido sulfhídrico en la capa de agua marina.

A pesar de las perturbaciones ambientales derivadas de las actividades humanas que tienen lugar en su periferia, en particular el turismo, el cenote Chempita, se considera como un ecosistema conservado en el que se tienen registros de la presencia de especies únicas en el país como son algunos decápodos: camarones cavernícolas (*Anchialocaris paulini*, *Agostocaris bozani*) y el remipedio (*Xibalbanus cf. cozumelensis*) (Mejía-Ortíz et al., 2017).

Cueva Chempita

Isla Cozumel, Quintana Roo, México
Ejido Villa Cozumel
2016

Longitud total topografiada: 791 m
Profundidad máxima: 50 m
Profundidad promedio: 30 m

Explorada y topografiada por miembros del:

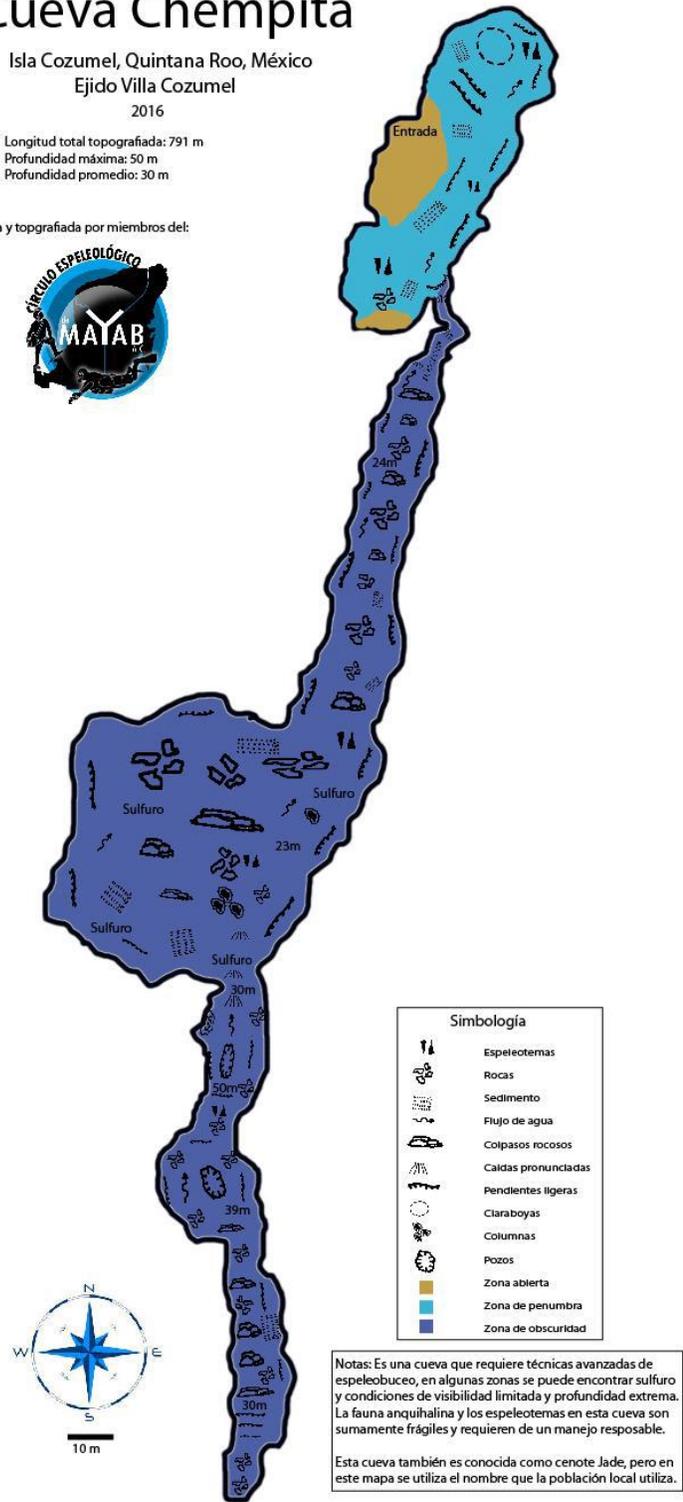


Figura 5. Mapa de la cueva Chempita. Elaborado por Circulo Espeleológico del Mayab

VIII. Material y métodos

Trabajo de campo

Muestras de Xibalbanus cf. cozumelensis.

Los muestreos se realizaron en el cenote Chempita, durante los meses de diciembre de 2019 a marzo de 2020, con una periodicidad de 15 días, para lo cual fue necesario acreditar y obtener la certificación en espeleobuceo (TDI Full cave). Estaba contemplado el mes de abril como parte del muestreo, pero por cuestiones sanitarias suscitadas a partir de la pandemia por SARS CoV-2 (COVID-19), se suspendieron esos 2 muestreos.

El día 1 de diciembre de 2019, se colocó un sensor HOBO Water Temp pro v2 Onset, a una profundidad cercana a los 30 metros, posterior a la haloclina (24m), que corresponde a la capa de agua marina en donde se ha registrado género *Xibalbanus* en otros cenotes dentro de la Península (Benítez et al., 2019); la función de este sensor es la de registrar la temperatura con una periodicidad establecida de 60 minutos.

En cada inmersión, de manera sistemática, se realizó la búsqueda de los individuos de *Xibalbanus cf. cozumelensis*, en una galería ubicada aproximadamente a 95 m de distancia horizontal de la entrada a la cueva del cenote. Cada inmersión se realizó con 2 buzos: un buzo se quedó en el techo de la galería buscando remipedios, con la linterna haciendo un paneo de forma horizontal, mientras que un segundo buzo se ubicó en la mitad/parte baja de la galería buscando entre las grietas de las rocas y el piso de la cueva.

Para la obtención de las imágenes de los individuos de *Xibalbanus cf. cozumelensis*, se utilizaron 2 técnicas: mediante el uso de viales de 20 ml, con una escala milimétrica introducida de 45 x 20 mm, los cuales se llenaron al inicio de cada inmersión con agua del cenote, así como con una tablilla cuadriculada de 17 x 120 mm.

Esto se realizó con el objeto de ampliar la capacidad de obtener muestras durante cada inmersión al cenote, y para facilitar la toma de medidas de los individuos capturados. En cada inmersión se llevaron 5 viales, 1 tablilla y un equipo fotográfico con iluminación fija. En la primera técnica, los organismos fueron introducidos al vial para obtener fotografías y videos de su comportamiento, posterior a esta captura, los organismos fueron liberados.

La tablilla que se utilizó para filmar al individuo muestreado tenía una escala milimétrica que le permitiera nadar sin barreras físicas, a efecto de observar y documentar su comportamiento in situ. Los registros fotográficos, tanto de los individuos en los viales, como de aquellos medidos con la tablilla, se realizaron con una cámara GoPro modelo Hero 5 Black (Fig. 6).

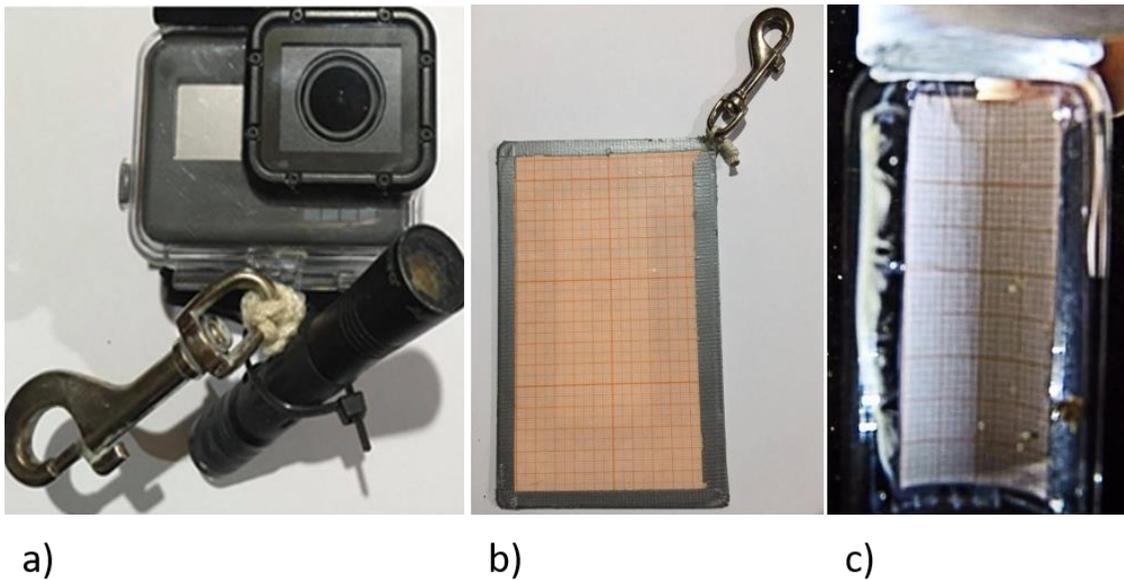


Figura 6. Equipo para colecta. a) Cámara GoPro b) Tablilla con escala c) Vial con escala

A partir de las imágenes y videos obtenidos, se realizó el análisis digital de los mismos en el software de uso libre ImageJ 1.52^a, para determinar la longitud de los remipedios utilizando las escalas milimétricas como puntos de referencia, los apéndices cefálicos (antenas) no se tomaron en cuenta para realizar las mediciones, debido a que estos presentan una amplia plasticidad morfométrica, derivada del tamaño de cada individuo; además, por el tipo de muestreo realizado, estas estructuras morfológicas no fueron registradas. ImageJ fue seleccionado por la sencillez de

su interfaz para el usuario, aunado a que está diseñado para la medición de fotografías microscópicas mediante una referencia establecida, con lo que se puede cuantificar la longitud de un objeto a partir de los píxeles.

La identificación a nivel de especie no se realizó debido a que fue un muestreo no extractivo, se mantiene la clasificación a nivel de género a lo reportado por Mejía-Ortiz et al. (2017).

Registro de parámetros fisicoquímicos del agua del Cenote Chempita

En cada buceo se cuantificaron los perfiles de profundidad ± 0.05 m, temperatura ± 0.10 °C, salinidad ± 0.2 UPS, oxígeno disuelto ± 0.1 mg/L, pH ± 0.2 y conductividad cada 30 segundos, haciendo uso de una sonda, multiparamétrica Hydrolab Sonde Recorder DS5 (Fig. 7), enganchada al equipo de uno de los buzos, se procuró mantener un ritmo de nado uniforme para la correcta obtención de los datos. De esta manera, se obtuvo la caracterización de la columna de agua Chempita.



Figura 7. Sensores empleados para toma de datos fisicoquímicos. a) Hydrolab b) HOBO colocado en capa de agua marina.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico, se utilizó el programa Primer 6 para calcular los índices estadísticos de componentes principales (ACP), agrupamiento y correlaciones para identificar las variables ambientales que tienen la mayor relación con la presencia de los organismos.

Se emplearon las variables de salinidad y profundidad, para delimitar las masas de agua presentes en el cenote; la de agua marina que se encontró por debajo de la haloclina con una salinidad de ± 37 UPS. Para poder observar los cambios en los parámetros fisicoquímicas se obtuvieron promedios por metro de profundidad de todos los parámetros (Anexo 1) con el objeto de identificar, si la presencia o ausencia de los individuos de *Xibalbanus cf. cozumelensis*, es dependiente o independiente de factores ambientales característicos del cenote en estudio.

IX. Resultados

Colecta de organismos

Los organismos estudiados se pudieron observar con mayor abundancia en el mes de diciembre (siendo el 57.14% de la muestra total) y es importante mencionar que únicamente el 15 de diciembre se observó más de 1 organismo al mismo tiempo en el mismo muestreo.

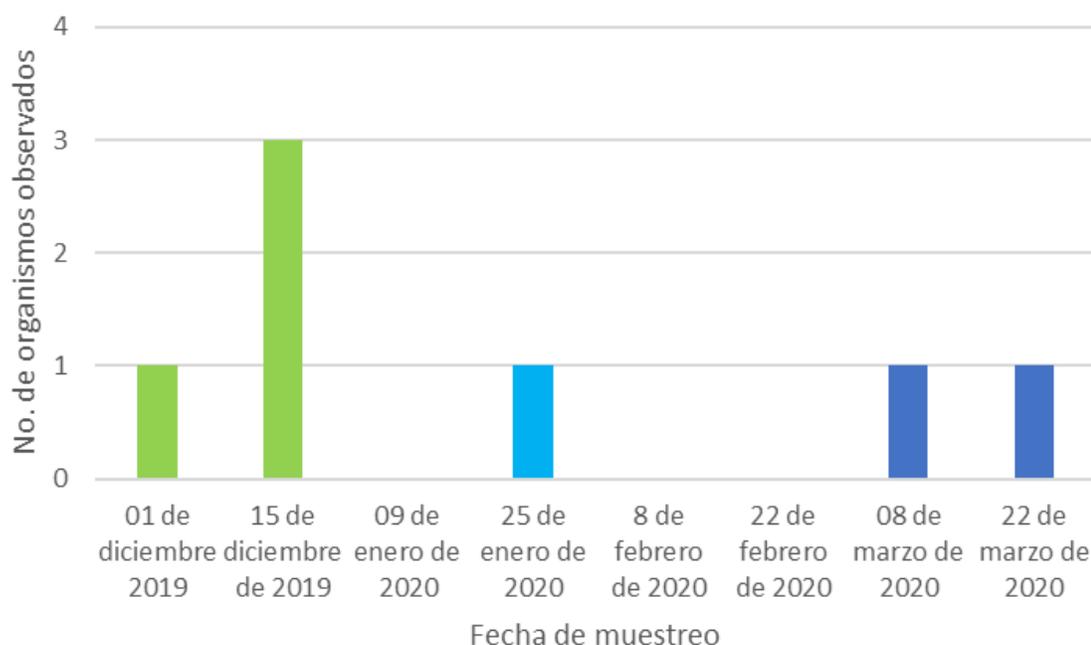


Figura 8. Presencia-ausencia de los organismos en los muestreos.

En el muestreo realizado el 1 de diciembre sólo se observó un ejemplar nadando en la parte inferior de la galería; el 15 de diciembre se observaron tres organismos con las siguientes tallas aproximadas (± 1.7 mm): a) 23.3 mm, b) 33.7 mm, y c) 43.4 mm; se encontraron asociados a rocas, el de menor talla se capturó cercano al techo de la galería mientras los otros dos ejemplares nadaban muy cerca de unas rocas que se encontraban a 33 m de profundidad (Anexo 1, fig. 26). El día 25 de enero, sólo se observó un organismos nadando en la zona inferior a 30 m, con una

LT de 51.60 mm (Anexo 1, Fig.27). En febrero no se observaron ejemplares. En marzo se observaron 2 ejemplares uno por muestreo, el primer ejemplar se encontró cercano a la línea de vida entre una nube de sulfuro con una LT de 45.4 mm (Anexos, Fig.28), durante el segundo muestreo mensual se registró un individuo con una talla de 56.6 mm (Anexo 1, Fig.29).

Para el intervalo de tallas registrado, se encontró que en el muestreo de enero se obtuvo la talla mínima: 23.3 mm y en marzo, la máxima de 56.6 mm, la talla promedio fue de 42.3 mm.

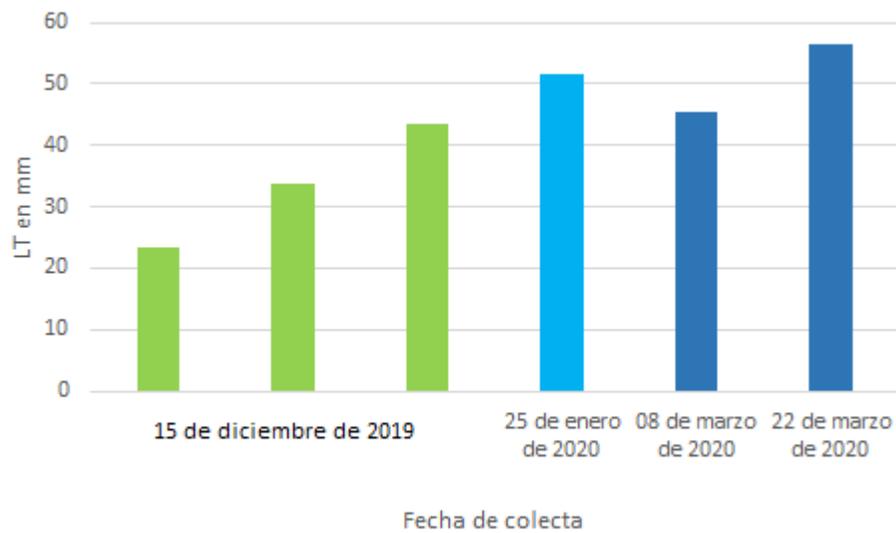


Figura 9. Distribución de tallas de *Xibalbanus cf. cozumelensis*

Descripción de las características ambientales de la cueva.

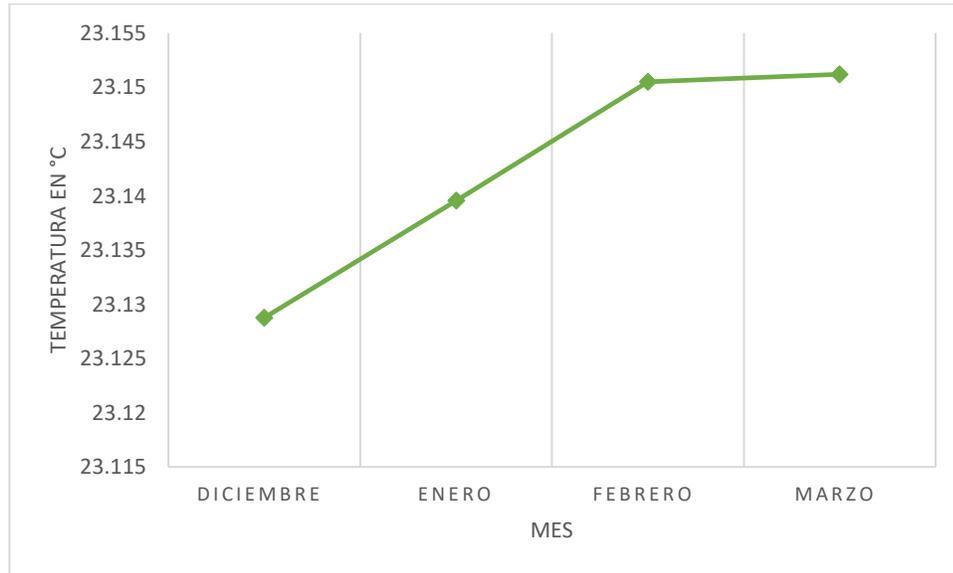


Figura 10. Distribución de temperatura del agua en el cenote Chempita registrado con el sensor DS5 durante todo el muestreo.

El sistema anquihalino se caracterizó por presentar 3 masas de agua: agua dulce 0-22 m; la haloclina se encontró de forma variable entre los 23-24 m con excepción del mes de febrero cuando subió a 20-21 metros de profundidad y agua marina a partir de los 24m que ya presentaba salinidad de 37 UPS.

Durante el mes de diciembre, la temperatura se mantuvo constante en la capa de agua dulce con un valor medio de 24.5°C, el pH presentó una variación de 1 unidad a lo largo de la columna de agua; conforme se incrementó la profundidad la temperatura decreció 1.7°C, el pH se mantuvo en 7.9 en el lente de agua dulce, mientras que el oxígeno disuelto se mantuvo en 0.25 mg/L.

Durante el mes de enero la temperatura superficial fue de 24°C, el pH varió de 7.5 en el lente de agua dulce a 9.2 en la parte marina, la variación de oxígeno disuelto es menor: pasó de 0.24 a 0.18 mg/L.

El mes de febrero presentó diferencias respecto al pH, ya que se encontró en el rango de 7-7.3 en el agua dulce, la temperatura superficial se mantuvo a 24.5°C promedio, con 0.25mg/L de oxígeno disuelto.

En el mes de marzo se presentó una temperatura superficial de 24.15°C, con una variación mayor en el pH, ya que en el agua dulce está en equilibrio con una ligera tendencia a lo alcalino con 7.45 y al incrementar la profundidad alcanzó un valor máximo de 9.24 en la zona marina, mientras que el oxígeno disuelto tiene un rango de valores de 0.25 a 0.19 mg/L.

Análisis de la capa marina.

La capa de agua marina durante los cuatro meses de muestreo mantuvo una salinidad máxima de 37.7UPS, presentando una variación de 0.38 UPS y 0.56 UPS en los meses de diciembre y febrero respecto a los mínimos, por lo que la variación promedio del estudio fue de 0.4 UPS (± 0.1 UPS) en esta capa. La haloclina se mantuvo de forma constante entre 24-25 metros, a finales de enero y marzo aumentó de profundidad ya que el cambio en la salinidad se registró hasta los 26 metros.

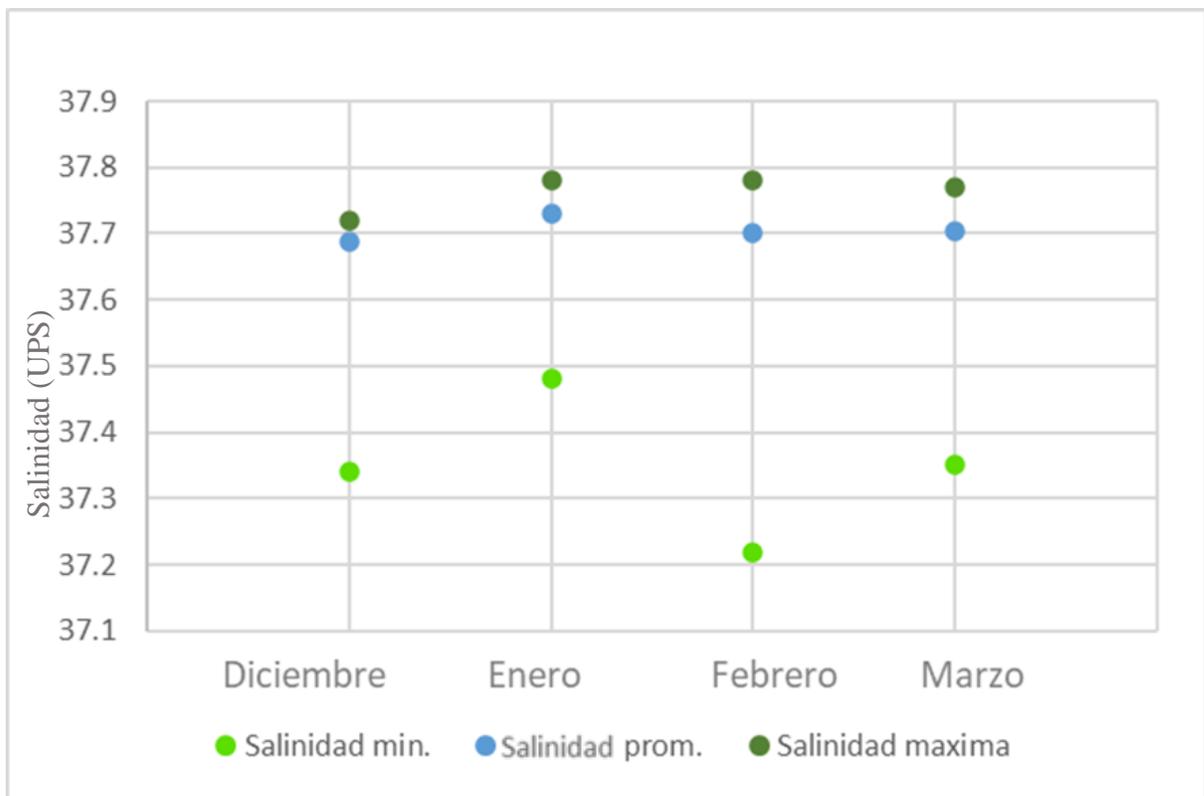


Figura 11. Variabilidad mensual de la salinidad (UPS) en la capa de agua marina del cenote Chempita.

La temperatura se mantuvo relativamente estable en los 23°C durante los meses de diciembre, enero y marzo, con una diferencia promedio entre los máximos mensuales de 0.46°C, mientras que los datos mínimos tuvieron una variación de 0.01°C durante el mes de marzo. El mes de febrero mostró condiciones de temperatura diferentes al resto de los muestreos ya que la temperatura mínima registrada fue de 22.98°C, con un promedio mensual de 23.22°C, mostrando una diferencia neta de 1.25°C.

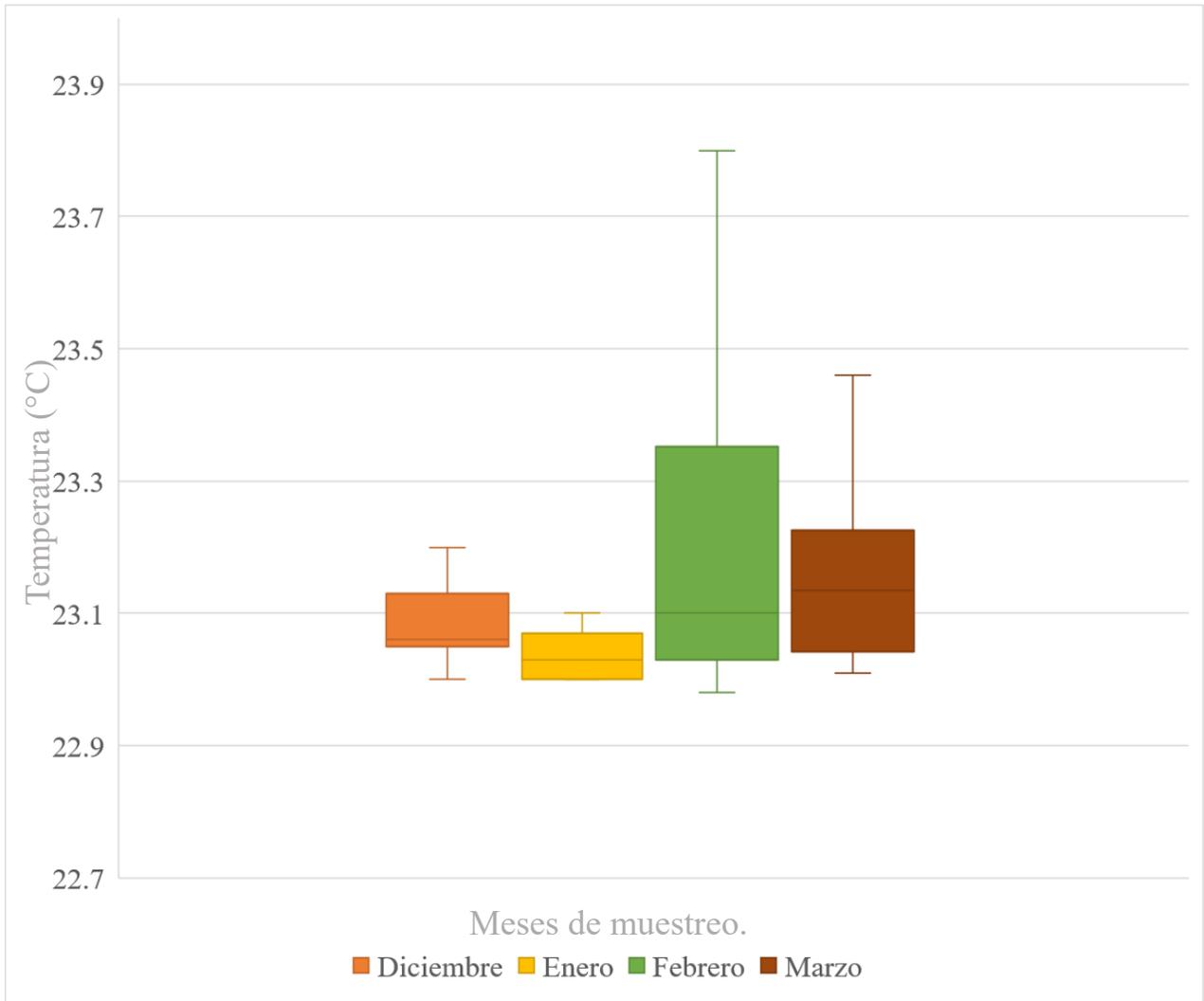


Figura 12. Distribución de la temperatura en la capa de agua marina del cenote Chempita.

Los niveles de oxígeno disuelto se mantuvieron constantes y estables a partir de los 30 m en 0.18 mg/L, lo cual coincide con las nubes de anhídrido sulfhídrico indicando un ambiente hipóxico, la variación máxima en el ambiente marino fue de 0.19, mostrando una ligera variación negativa de 0.002mg/L durante el mes de enero.

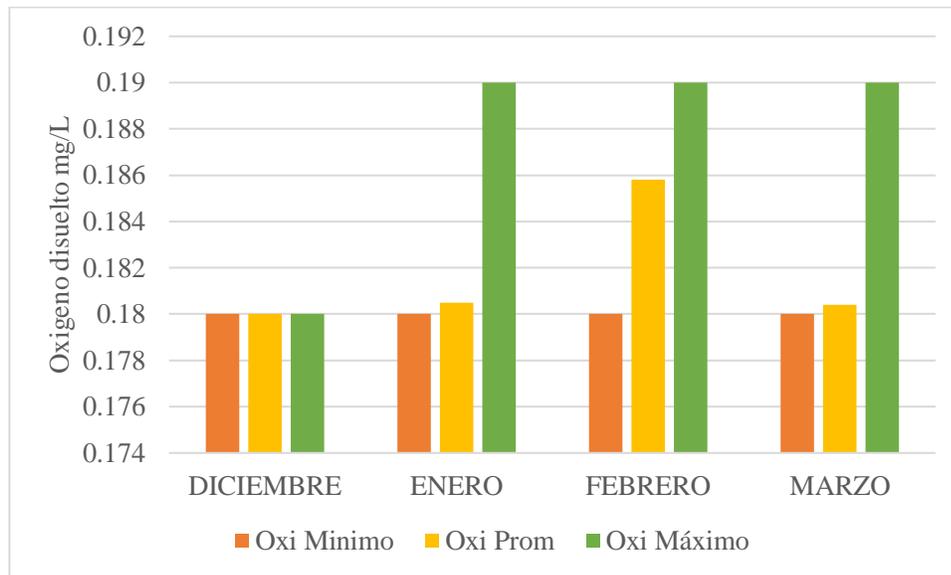


Figura 13. Variaciones de Oxígeno Disuelto en la capa de agua marina del Cenote Chempita

La variable fisicoquímica que mostró una variación más amplia fue el pH, no hay un promedio estable que haya representado la totalidad de la temporada. En diciembre alcanzó el punto máximo de alcalinidad con 9.37, con una diferencia de 0.36 unidades, es importante notar que el punto más bajo de diciembre fue mayor que el promedio de toda la muestra; durante enero la alcalinidad bajó a 9.01, manteniéndose relativamente estable (cambia sobre 0.08 unidades); en el mes de febrero existió un repunte a 9.24, con una diferencia de 0.32 respecto al valor mínimo, y durante el mes de marzo se mantuvo con valores semejantes, la variación respecto a la medición máxima: 9.24, es de 0.06 unidades.

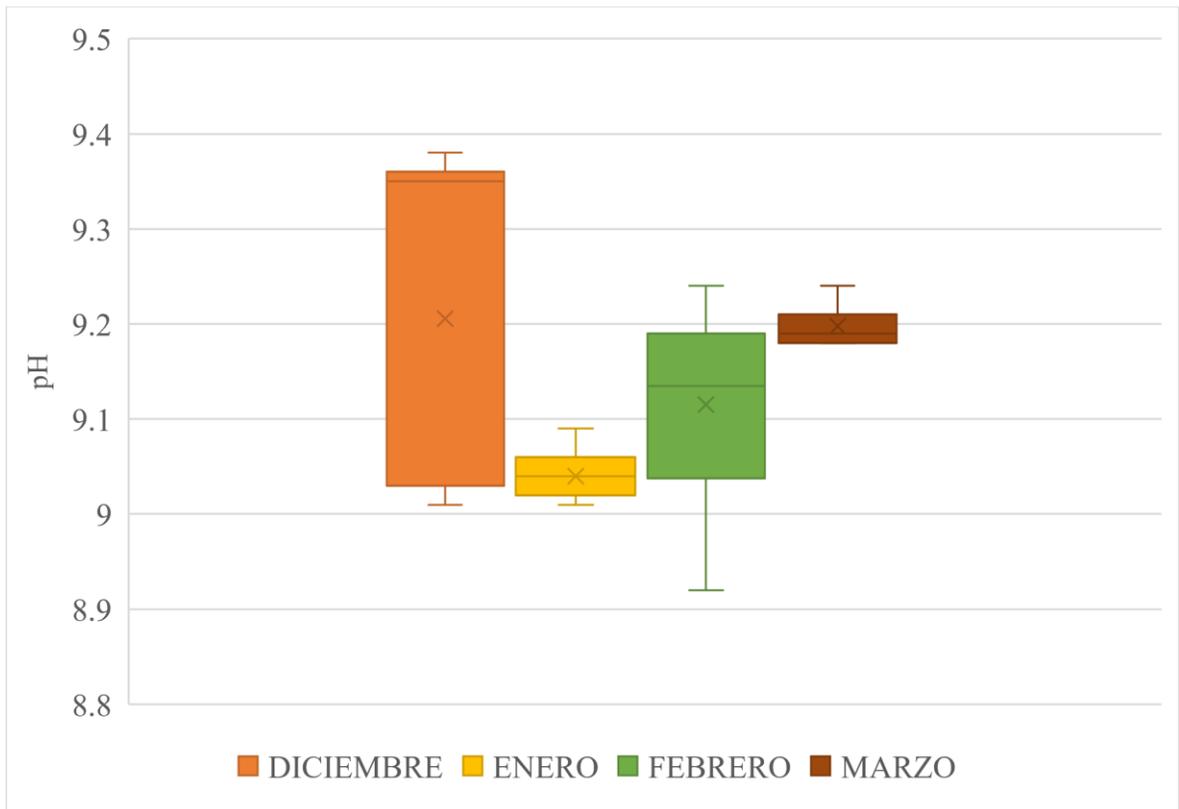


Figura 14. Variaciones mensuales del pH en la capa de agua marina del cenote Chempita.

Integración de los parámetros ambientales y la presencia los remipedios

El Análisis de Componentes Principales (ACP) se realizó en la capa de agua marina, ya que la distribución de los remipedios descritos para este sistema se encuentra restringida a esta. Si las comparamos con los requerimientos para modificar los estados óptimos de macro especies, las variaciones presentadas son mínimas, pero al encontrarnos con especies cuyas distribuciones están sumamente restringidas, las variaciones mínimas afectan directamente a organismos con alto grado de especialización. Las masas de agua se separan por profundidad y sus características fisicoquímicas (salinidad, temperatura, etc.); en la capa de agua marina los organismos tienen movilidad, pero de acuerdo con las características ambientales, sólo algunos factores fisicoquímicos describen los microhábitats de estos organismos, donde la presencia de salinidad de manera constante y el oxígeno disuelto con los momentos de ausencia de este parámetro químico, definen esta influencia

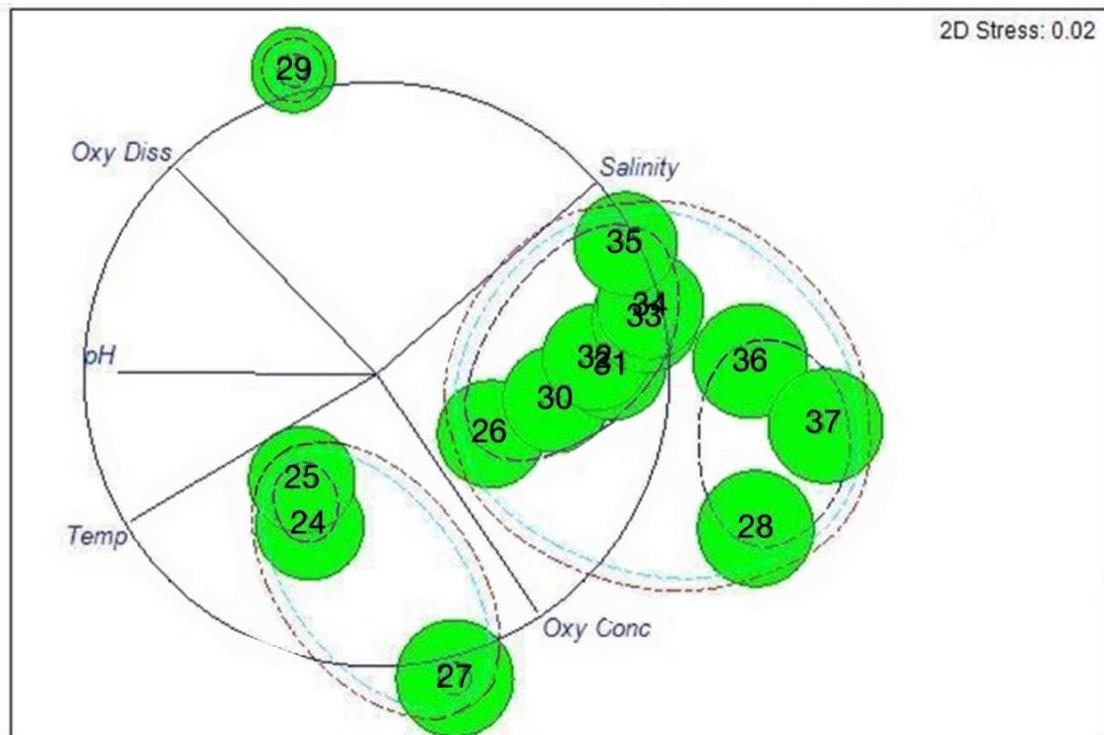


Figura 15. ACP con las variables fisicoquímicas: oxígeno disuelto, pH, temperatura y salinidad. Los valores al interior de los círculos indican profundidad

X. Discusión.

Las remipedios observados en el cenote Chempita se identifican a nivel de género, ya que se están realizando estudios taxonómicos y genéticos para definir de forma precisa la especie, además de que, dada la naturaleza del estudio, no fue posible observar el número de somitas ni hacer una clasificación adecuada, por lo que para fines de este estudio se confirió a *Xibalbanus cozumelensis*. presentó tallas por encima de la media de la clase Remipedia a nivel mundial; un ejemplo es *Xibalbanus cozumelensis* cuya LT promedio es de 39mm (Olesen et al., 2017), *Xibalbanus tulumensis* con LT 38 mm (Yager, 1987), *Speleonectes lucayensis*, 24mm (Yager, 1981), y nuestro registro máximo es de 56.63 mm. Los registros de presencia se obtuvieron en las cercanías de rocas, los remipedios que se encontraron ahí, estaban ubicados en la zona posiblemente por sus hábitos alimenticios (omnívoros y depredadores) (Koenemann et al., 2007; Van der Ham y Felgenhauer, 2007; Torres-Talamante, 2009; von Reumont et al., 2014). La amplitud de la galería no permitió una búsqueda detallada, pero se cubrió un área mayor, por lo que la ausencia de organismos durante algunos de los meses en los que se llevó a cabo este trabajo no implicó que no se encuentran en otra parte de la columna de agua marina.

La cantidad de organismos registrados para este sistema anquihalino es de gran importancia, ya que en 4 meses de muestreo se registraron 7 individuos de *Xibalbanus cf. cozumelensis*, mientras que para *Speleonectes lucayensis* se han registraron menos de 12 individuos en 3 años de monitoreo (Yager, 1981). En el cenote Crustácea la abundancia de remipedios se cuenta por cientos, además de presentar una gran cantidad de alimento disponible como es *Typhlatya pearsei* (Torres-Talamante, 2009), los cual enfatiza la necesidad de conocer a detalle las condiciones fisicoquímicas y biológicas necesarias que limitan o favorecen la abundancia de los remipedios.

Los parámetros ambientales a los que los organismos marinos se encuentran condicionados son cambiantes a lo largo del tiempo, por lo cual los rangos de distribución geográfica están delimitados por las respuestas fisiológicas y adaptativas que estos presenten (Alpuche et al., 2005). En las poblaciones raras, específicamente en el caso de los remipedios estas condiciones ambientales juegan un papel importante, ya que estos organismos presentan una mayor

especificidad de hábitat y alimento para desarrollarse y el cambio abrupto de una variable podría interferir de forma negativa en la abundancia poblacional (Calderón-Gutiérrez et al., 2017). Tal como se observó durante el mes de febrero en Chempita donde el pH y la temperatura se modificaron respecto a los otros meses del muestreo y estas variaciones en las condiciones ambientales son mínimas respecto a la sensibilidad de los instrumentos, nos conduce a explorar otras opciones para explicar estas diferencias y la ausencia de remipedios.

En la temperatura, la variabilidad registrada (0.03°C) para esta época del año (secas), indica que los factores externos no generaron una alteración directa efectiva en la capa de agua marina debido a factores como: tiempo de infiltración, precipitación mínima requerida para modificar las capas de agua subterráneas, captación del recurso hídrico por parte de la vegetación (White, 2002; Bonacci et al., 2009), mostrándolo aparentemente como un sistema semi-aislado, ya que presenta una interacción directa con la superficie en el lente de agua dulce que a su vez presenta una gran actividad de descomposición de materia orgánica, lo que genera que el oxígeno disponible sea menor en comparación con otros sistemas en la región.

En sistemas acuáticos en donde los valores de pH varían por factores como: la respiración, los procesos de descomposición de materia orgánica, las modificaciones en las concentraciones de CO_2 y la acumulación de H_2S , que genera que la acción corrosiva del agua derivan en un incremento que provoca disolución de minerales, lo que modifica el equilibrio ácido-base en los carbonatos y ocasiona una reducción del pH, alterando así la estabilidad del carbonato de calcio, que actúa como amortiguador en el sistema; se tienen registros sobre la gran efectividad de disolución que presenta en la haloclina, la cual es una barrera física para el intercambio de nutrientes y limita el paso de diversos organismos (Uchupi, 1973; Álvarez et al., 2000; Yun et al., 2016; Iliffe y Álvarez, 2018; Valera-Fernández et al., 2020).

El oxígeno disuelto en la capa marina se mantuvo en un rango hipóxico constante generando un ambiente reductor, cuyos procesos energéticos derivados del aprovechamiento de sulfuros como último aceptor de electrones, resultan en reacciones ligeramente exotérmicas, lo cual podría ser la causa de la modificación de la temperatura en el mes de febrero, aunado al incremento de lluvias

que pudieron aportar mayor cantidad de materia orgánica y desencadenando una serie de modificaciones al sistema (Zarza-González., 2007; Pakes et al., 2014).

La talla de los organismos presentes en este sistema se encuentran entre los más grandes, según los datos de Mejía-Ortiz (comunicación personal) en 9 organismos capturados, procesados y medidos en laboratorio, en un estudio independiente anterior, en el cual se realizó un muestreo extractivo, cuyas tallas promedio fueron de 41.98 mm, con 42 segmentos troncales; los datos obtenidos en este estudio se encuentran dentro de ese rango, por cuestiones de resolución de imagen, no se lograron contabilizar los segmentos troncales, por lo que las tallas reportadas son las aproximaciones obtenidas mediante la medición con la escala milimétrica y el programa ImageJ.

Respecto a los sitios donde se observaron *Xibalbanus cf. cozumelensis*, corresponden a las zonas con niveles constantes de hipoxia (0.18-0.19 mg/L) que de forma indirecta nos indican sobre el potencial reductor, que se confirmó mediante la observación de ligeras capas de anhídrido sulfhídrico, que han sido reportadas con anterioridad en Mejía-Ortíz et al. (2017) en el sistema Chempita, un factor que podríamos considerar es la forma complementaria de obtener energía de los remipedios por materia orgánica resultado de procesos quimiosintéticos (Pohlman, 2000)

Es esencial generar más estudios ecológicos de especies raras, sobre todo en sistemas anquihalinos, para obtener un conocimiento más amplio de la relación entre su comportamiento demográfico y las restricciones de su hábitat. Así como sobre la influencia que tiene el medio externo en estos sistemas subterráneos: su relación con el aporte de materia orgánica y las implicaciones en la población de estos remipedios por efectos de contaminantes en la superficie, dado que estos tienden a percolar hasta las capas de agua subterráneas debido a la porosidad del suelo.

XI. Conclusiones.

- La talla de *Xibalbanus cf. cozumelensis* en el cenote Chempita, representa la mayor registrada para los remipedios a nivel mundial.
- La preferencia de hábitat de los ejemplares capturados se encontró asociada con los sustratos de la cueva, desde las paredes hasta el techo, pocas veces a la columna de agua y no necesariamente con las nubes de anhídrido sulfhídrico.
- Los ejemplares capturados se mantuvieron en una zona con condiciones anóxicas predominantes.
- El factor principal para la presencia de *Xibalbanus cf. cozumelensis* es la salinidad, por lo tanto, su distribución se limita exclusivamente a la capa marina.
- La observación de nubes de acumulación de anhídrido sulfhídrico en la zona de recolecta, permite suponer que en este ambiente predominan los procesos reductivos.

Recomendaciones

- Se recomienda medir otras variables como el anhídrido sulfúrico, para obtener mayor precisión de las características y su rol en la cadena energética de Chempita.
- Tomar muestras de sedimento y agua para registrar y cuantificar los sulfuros.
- Efectuar estudios microbiológicos para identificar si existen comunidades bacterianas que posiblemente se encuentran asociadas *Xibalbanus cf. cozumelensis*
- Realizar muestreos semanales durante el mes de diciembre para evaluar si existe mayor abundancia durante este mes, comparado con meses previos.
- Para la toma de imágenes es necesario el uso de una luz indirecta fija, pues facilita el trabajo de fotografía y se mejora la resolución de imagen, pues a pesar de que el remipedio está en constante movimiento no pierde nitidez al ser semitransparente, además de usar un contenedor cuya apertura sea sencilla para el eficiente manejo del organismo.
- Realizar muestreos en las 3 temporadas climáticas (Lluvias en verano, nortes en invierno, secas) para evaluar si existen patrones asociados con los aportes de nutrientes al sistema.

XII. Literatura citada

- Abreo, M. E. M., y Soto, M. (2003). Los sitios de colecta de las especies amenazadas o en peligro de extinción en el estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 5(1): 7-14.
- Alpuche, J., Pereyra, A., y Agundis, C. (2005). Respuestas bioquímicas de camarones marinos a factores ambientales. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(5); 1-10.
- Álvarez, F., Escobar-Briones, E y Alcocer, J. (2000). Sistemas anquihalinos. *Ciencia y Desarrollo*. XXVI 155; 37-45.
- Angyal, D., Chávez-Solís, E. M., Liévano-Beltrán, L. A., Magaña, B., Simoes, N., y Mascaró, M. (2020). New distribution records of subterranean crustaceans from cenotes in Yucatan (Mexico). *ZooKeys*, 911; 21-49.
- Ballou, L., Iliffe, T. M., Kakuk, B., Gonzalez, B. C., Osborn, K. J., Worsaae, K., ... & Olesen, J. (2021). Monsters in the dark: Systematics and biogeography of the stygobitic genus *Godzillius* (Crustacea: Remipedia) from the Lucayan Archipelago. *European journal of taxonomy*, 751, 115-139.
- Beddows, P. A., Blanchon, P., Escobar, E., Torres-Talamante, O. (2007). Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología Mexicana*, 16; 32-35.
- Begon, M., Townsend, C. R. y Harper, J.L. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems*. John Wiley & Sons. 750 pp.
- Benítez, S., Illife, T. M., Quiroz-Martínez, B., y Álvarez, F. (2019). How is the anchialine fauna distributed within a cave? A study of the Ox Bel Ha System, Yucatan Peninsula, Mexico. *Subterranean Biology*, 31: 15-28.
- Bishop, R. E., Humphreys, W. F., Cukrov, N., Žic, V., Boxshall, G. A., Cukrov, M., Iliffe, T.M. y Sket, B. (2015). ‘Anchialine’ redefined as a subterranean estuary in a crevicular or cavernous geological setting. *Journal of Crustacean Biology*, 35(4);511-514.
- Bonacci, O., Pipan, T., y Culver, D. C. (2009). A framework for karst ecohydrology. *Environmental Geology*, 56(5); 891-900.
- Bottrell, S. H., Smart, P. L., Whitaker, F., & Raiswell, R. (1991). Geochemistry and isotope systematics of sulphur in the mixing zone of Bahamian blue holes. *Applied Geochemistry*, 6(1);97-103.

- Boxshall, G. A. (2007). Crustacean classification: on-going controversies and unresolved problems. *Zootaxa*, 1668(1); 313-325.
- Brankovits D, Pohlman J.W., Niemann H., Leigh M.B., Leewis M.C., Becker K.W., Iliffe T.M., Alvarez F., Lehmann M.F., Phillips B. (2017) Methane- and dissolved organic carbon-fueled microbial loop supports a tropical subterranean estuary ecosystem. *Nature Communications*, 28;8(1), 1835 1-12.
- Brusca, R. C. y G. J. Brusca. (2003). *Invertebrates*, 2nd Edition. Sunderland, MA: Sinauer Associates. 936 pp.
- Calderón-Gutiérrez, F., Solís-Marín, F. A., Gómez, P., Sánchez, C., Hernández-Alcántara, P., Álvarez-Noguera, F., y Yáñez-Mendoza, G. (2017). Mexican anchialine fauna—With emphasis in the high biodiversity cave El Aerolito. *Regional studies in marine science*, 9;43-55.
- Carpenter, J. (1999). Behavior and ecology of *Speleonectes epilimnius* (Remipedia, Speleonectidae) from surface water of an anchialine cave on San Salvador Island, Bahamas. *Crustaceana*, 72(8); 979-991.
- Castellanos, S. A. (2002). Plantas vasculares raras, amenazadas, o en peligro de extinción del estado de Oaxaca, un panorama preliminar. *Polibotánica*, (13):47-82.
- Chávez-Solís EM, Solís C, Simoes N, Mascaró M. (2020) Distribution patterns, carbon sources and niche partitioning in cave shrimps (Atyidae: *Typhlatya*). *Scientific Reports Nature*, 10: 12812: 1-16.
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (2009). 106. Cozumel. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_106.html
- Comisión Nacional del Agua (2012). Proyecto de bases de datos climatológicos. Disponible en <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Mensuales/qroo/00023048.TXT>
- Culver D, Pipan T. (2010) *The biology of caves and another subterranean habitat*. Oxford, Oxford University Press. 254 pp.

- Daenekas, J., Iliffe, T. M., Yager, J., y Koenemann, S. (2009). *Speleonectes kakuki*, a new species of Remipedia (Crustacea) from anchialine and subseafloor caves on Andros and Cat Island, Bahamas. *Zootaxa*, 2016(1);51-66.
- Ertas B., Reumont B.M. von, Wägele J. W., Misof B. y Burmester T. (2009). Hemocyanin suggests a close relationship of Remipedia and Hexapoda. *Molecular Biology and Evolution*, 26(12): 2711–2718.
- Esparza-Olguín, L. G. (2004). ¿Qué sabemos de la rareza en especies vegetales? Un enfoque genético-demográfico. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, (75); 17-32.
- Fanenbruck M. y Harzsch S. (2005) A brain atlas of *Godzilliognomus frondosus* Yager, 1989 (Remipedia, Godzilliidae) and comparison with the brain of *Speleonectes tulumensis* Yager, 1987 (Remipedia, Speleonectidae): implications for arthropod relationships. *Arthropod Structure & Development*, 3: 343–378.
- Fiser, Z. (2019). 1. Adaptation to low food (1-6 pp). En: White W., Culver D. y Pipan T. (Eds.), *Encyclopedia of caves*. Academic Press. 1250pp.
- Fleishman, E., Murphy, D. D., y Brussard, P. F. (2000). A new method for selection of umbrella species for conservation planning. *Ecological applications*, 10(2);569-579.
- Frausto-Martínez, O., Zapi-Salazar, N. A., y Colin-Olivares, O. (2018). Identification of Karst Forms Using LiDAR Technology: Cozumel Island, Mexico. *Trends in Geomatics- An Earth Science Perspective*, 11: 33-43.
- García-Valdecasas, A. (1984). Morlockiidae new family of Remipedia (Crustacea) from Lanzarote (Canary Islands). *Eos*, 60: 329-333.
- Gerrard, S. (2000). *The cenotes of the Riviera Maya*. Rose Printing Inc., Tallahassee, Florida. 241 pp.
- Gillieson, D. (1996). *Caves : Processes, Development, Management*. Blackwell, Malden, MA. 335 pp.
- Gitzendanner, M. A., y Soltis, P. S. (2000). Patterns of genetic variation in rare and widespread plant congeners. *American Journal of Botany*, 87(6); 783-792.
- Hervant F. y Malard F. (2019). 2.Adaptations: Low oxygen (8-14). En: White W., Culver D. y Pipan T. (Ed.), *Encyclopedia of caves*. Academic Press. 1250 pp

- Hoenemann M., Neiber M.T., Humphreys W.F., Iliffe T.M., Li D., Schram F.R. y Koenemann S. (2013). Phylogenetic analysis and systematic revision of Remipedia (Nectiopoda) from Bayesian analysis of molecular data. *Journal of Crustacean Biology*, 33: 603–619.
- Holthuis, L. B. (1973). Caridean shrimps found in land-locked saltwater pools at four Indo-West Pacific localities (Sinai Peninsula, Funafuti Atoll, Maui, and Hawaii Islands), with the description of one new genus and four new species. *Zoologische verhandelingen*, 128(1), 1-48.
- Iliffe, T. M. (2018). Collecting and processing crustaceans from anchialine and marine caves, *Journal of Crustacean Biology*, 38(3): 374–379.
- Iliffe, T.M. y Álvarez, F. (2018). Research in Anchialine Caves. En; *Cave Ecology*, Springer, Cham. 383-397.
- Instituto de Ecología (1998). Programa de manejo Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel: México. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 165 pp.
- Itô, T., y Schram, F. R. (1988). Gonopores and the reproductive system of nectiopodan Remipedia. *Journal of Crustacean Biology*, 8(2); 250-253.
- Koenemann S., Schram F.R. y Iliffe T.M. (2006). Trunk segmentation patterns in Remipedia. *Crustaceana* 79: 607–631.
- Koenemann S., Schram F.R., Iliffe T.M., Hinderstein L.M., Bloechl A. (2007). The behavior of Remipedia (Crustacea), with supporting field observations. *Journal of Crustacean Biology*, 27: 534–542
- Koenemann, S., Olesen, J., Alwes, F., Iliffe, T. M., Hoenemann, M., Ungerer, P., Wolff, C. y Scholtz, G. (2009). The post-embryonic development of Remipedia (Crustacea)—additional results and new insights. *Development Genes and Evolution*, 219(3): 131.
- Krebs, C. J. (1989). *Ecological methodology*. Harper Collins Publishers. New York, 654 pp.
- Kubrakiewicz, J., Jaglarz, M. K., Iliffe, T. M., Bilinski, S. M., y Koenemann, S. (2012). Ovary structure and early oogenesis in the remipede, *Godzilliognomus frondosus* (Crustacea, Remipedia): Phylogenetic implications. *Zoology*, 115(4); 261–269.

- Liévano-Beltrán, L. A., y Simões, N. (2021). Updated distribution of the mysid *Antromysis cenotensis* (Crustacea: Peracarida), a protected key species in Yucatan Peninsula cenotes. *Diversity*, 13(4): 154.
- Lozano-Fernandez, J., Giacomelli, M., Fleming, J. F., Chen, A., Vinther, J., Thomsen, P. F., Glenner, H., Palero, F., Legg, D. A., Iliffe, T. M., Pisani, D., & Olesen, J. (2019). Pancrustacean Evolution Illuminated by Taxon-Rich Genomic-Scale Data Sets with an Expanded Remipede Sampling. *Genome biology and evolution*, 11(8); 2055-2070.
- Mammola, S., Piano, E., Cardoso, P., Vernon, P., Domínguez-Villar, D., Culver, D. C., Pipan, T y Isaia, M. (2019). Climate change going deep: the effects of global climatic alterations on cave ecosystems. *The Anthropocene Review*, 6(1-2); 98-116.
- Martínez-Palacios, A., Eguiarte, L. E., y Furnier, G. R. (1999). Genetic diversity of the endangered endemic *Agave victoriae-reginae* (Agavaceae) in the Chihuahuan Desert. *American Journal of Botany*, 86(8): 1093-1098.
- Mejía-Ortíz L. M. (2019). 38. Crustacea (333-347 p.). En: White W., Culver D. y Pipan T. (Ed.), *Encyclopedia of caves*. Academic Press. 1250 pp.
- Mejía-Ortíz, L. M., Yañez, G., y López-Mejía, M. (2017). Anchialocarididae, a new family of anchialine decapods and a new species of the genus *Agostocaris* from Cozumel Island, Mexico. *Crustaceana*, 90(4): 381–398.
- Neiber M.T., Hartke T.R., Stemme T., Bergmann A., Rust J., Iliffe T.M. y Koenemann S. (2011). Global biodiversity and phylogenetic evaluation of *Remipedia* (Crustacea). *PLoS ONE*, 6: 1–12.
- Neiber, M. T., Hansen, F. C., Iliffe, T. M., Gonzalez, B. C., y Koenemann, S. (2012). Molecular taxonomy of *Speleonectes fuchscockburni*, a new pseudocryptic species of *Remipedia* (Crustacea) from an anchialine cave system on the Yucatán Peninsula, Quintana Roo, Mexico. *Zootaxa*, 3190(1): 31-46.
- Olesen, J., Meland, K., Glenner, H., Van Hengstum, P. J., y Iliffe, T. M. (2017). *Xibalbanus cozumelensis*, a new species of *Remipedia* (Crustacea) from Cozumel, Mexico, and a molecular phylogeny of *Xibalbanus* on the Yucatán Peninsula. *European Journal of Taxonomy*, 16; 1-27.

- Pacheco M.A. y Vega Vera F. J. (2007). 2. Reseña geológica (49–70 p.). En: Mejía-Ortíz, L. M. (Ed.), Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel. Universidad de Quintana Roo-CONABIO, Plaza y Valdés, México. 418 pp.
- Pakes M.J., Weis A.K. y Mejía-Ortiz L., (2014). Arthropods host intracellular chemosynthetic symbionts, too: cave study reveals an unusual form of symbiosis. *Journal of Crustacean Biology*, 34 (3); 334-341.
- Pakes, M. J. and Mejía-Ortíz, L. M., (2014). Chemosynthetic ectosymbiosis reported in the predatory Anchialine Cave Endemic, *Xibalbanus tulumensis* (Yager, 1987) (Remipedia). *Crustaceana*, 87(14); 1657–1667.
- Pipan, T., López, H., Oromí, P., Polak, S. y Culver, D.C. (2010) Temperature variation and the presence of troglobionts in terrestrial shallow subterranean habitats, *Journal of Natural History*, 45(3-4): 253-273.
- Pohlman, J. W., Iliffe, T. M., y Cifuentes, L. A. (1997). A stable isotope study of organic cycling and the ecology of an anchialine cave ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, 155, 17-27.
- Pohlman J. W., Cifuentes, L. A. & Ilife, T. M. (2000). Food web dynamics and biogeochemistry of anchialine caves: a stable isotope approach. En *Ecosystems of the World: Sub-terranean Ecosystems* (eds Wilkens, H. et al.) 345–357
- Reul, A. L. H., Febles-Patrón, J. L., y Nava-Galindo, V. A. (2015). La contaminación fecal en cenotes de interés turístico y recreacional del estado de Yucatán. *Ingeniería*, 19(3); 169-175.
- Reumont von B. M. y Burmester T. (2010). Remipedia and the evolution of hexapods. *Encyclopedia of Life Sciences*.
- Reumont von, B. M., Jenner, R. A., Wills, M. A., Dell’Ampio, E., Pass, G., Ebersberger, I., Meyer, B., Koenemann, S., Iliffe, T. M., Stamatakis, A., Niehuis, O., Meusemann, K. y Misof, B. (2012). Pancrustacean phylogeny in the light of new phylogenomic data: support for Remipedia as the possible sister group of Hexapoda. *Molecular biology and evolution*, 29(3): 1031-1045.
- Reumont von B. M., Blanke A., Richter S., Alvarez F., Bleidorn C., Jenner, R. (2014) The first venomous crustacean revealed by transcriptomics and functional morphology:

- Remipede venom glands express a unique toxin cocktail dominated by enzymes and a neurotoxin. *Molecular Biology and Evolution*, 31(1), 48–58,
- Rivas-Camo, N. A., Sabido-Villanueva, P. A., Peralta-Muñoz, C. R., y Medellín, R. A. (2020). Cuba in Mexico: first record of *Phyllops falcatus* (Gray, 1839) (Chiroptera, Phyllostomidae) for Mexico and other new records of bats from Cozumel, Quintana Roo. *ZooKeys*, 973; 153.
 - Ruiz-Cancino, G., Mejía-Ortiz, L. M. y Lozano-Álvarez, E. (2013). Dinámica poblacional de *Creaseriella anops* (Crustacea: Isopoda) en cenotes dulceacuícolas de Quintana Roo. En M. López y L. M. Mejía (Eds.), *La Carcinología en México: el legado del Dr. Alejandro Villalobos 30 años después*. Universidad de Quintana Roo. Cozumel, Quintana Roo, México. 180 pp.
 - Rzedowski, J., y de Rzedowski, G. C. (1993). Datos sobre la dinámica de la flora fanerogámica del valle de México, con énfasis en especies nativas raras, en peligro de extinción y aparentemente extintas. *Acta Botánica Mexicana*, (25); 81-108.
 - Schmitter-Soto, J. J. (2020). La ictiofauna cenotícola (peces de cenote) más relevante de la península de Yucatán. *Bioagrobiencias*, 13(1); 9-22.
 - Schram, F.R., Yager, J. y Emerson, M.J. (1986). *Remipedia, Part I. Systematics*. *Memoirs of the San Diego Society of Natural History*, 15: 1-60.
 - Secretaria de Turismo (2013). *Agendas de competitividad de los destinos turísticos de México. Estudio de Competitividad turística del destino Cozumel*. Disponible en <https://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Cozumel.pdf>
 - Sekercioglu, C. H., Schneider, S. H., Fay, J. P., y Loarie, S. R. (2008). Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation biology*, 22(1); 140-150.
 - Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental– Especies nativas de México de flora y fauna silvestres– Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio– Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación 30 diciembre de 2010.
 - Sistema Geológico Mexicano (2006). *Carta Geológico-Minera Cozumel F1611 escala 1: 250 000*, Secretaría de Economía. Pachuca, México. Disponible en

https://mapserver.sgm.gob.mx/InformesTecnicos/CartografiaWeb/T232005LEBO0001_01.PDF

- Servicio Geológico Mexicano. (2011). Léxico estratigráfico de México. Formación Carrillo Puerto. Disponible en <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/CarrilloPuerto.pdf>
- Sket B. (2019). 8. Anchialine (Anchialine) caves and fauna (56-64 p.). En: White W., Culver D. y Pipan T. (Eds.), *Encyclopedia of caves*. Academic Press. 1250 pp.
- Spaw R.H. 1978. Late Pleistocene carbonate bank deposition: Cozumel Island, Quintana Roo, Mexico. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 28: 601–619.
- Torres-Talamante O., Escobar, E., Beddows, P. A., & Yager, J. (2008). Performing Multiprobe Profiles and Hydrographic Description of the Water column in an Anchialine Cave in Quintana Roo, *Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences 27th Symposium*, pp. 177-186.
- Torres-Talamante O. (2009). Hábitat y dieta de *Speleonectes tulumensis* (Crustacea: Remipedia) (Yager, 1987) en el ecosistema anchialino “Crustacea”, Quintana Roo, México [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]
- Trejo-Pelayo, S. A. (2020). Geomorfología de la isla de Cozumel y su relación con los cambios del nivel del mar a partir del Pleistoceno Tardío, Quintana Roo. [Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México]
- Trontelj P. (2019). 6. Adaptation and natural selection in caves (40-45 p.). En: White W., Culver D. y Pipan T. (Eds.), *Encyclopedia of caves* Academic Press. 1250 pp.
- U.S. EPA. (2002). A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington Office, Washington, DC, EPA/600/R-02/003, 2002
- Uchupi E. (1973). Eastern Yucatán continental margin and western Caribbean tectonics. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 57: 1075–1095.
- Valera-Fernández, D., Solleiro-Rebolledo, E., López-Martínez, R. A., Pi-Puig, T., Salgado-Garrido, H., y Cabadas-Báez, H. (2020). Quaternary carbonates on the coast of

- the Yucatan Peninsula and the island of Cozumel, Mexico: Paleoenvironmental implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 102670.
- Van der Ham, J., y Felgenhauer, B. (2007). On possible venomous effects of *Speleonectes* sp. (Remipedia). *Crustaceana*, 80(6): 755-765.
 - Reumont von, B. M., Blanke, A., Richter, S., Alvarez, F., Bleidorn, C., y Jenner, R. A. (2014). The first venomous crustacean revealed by transcriptomics and functional morphology: remipede venom glands express a unique toxin cocktail dominated by enzymes and a neurotoxin. *Molecular Biology and Evolution*, 31(1): 48-58.
 - White, W. B. (2002). Karst hydrology: recent developments and open questions. *Engineering Geology*, 65(2-3): 85-105.
 - White, W., Culver D. y Pipan T. (2019). *Encyclopedia of caves*, 3rd Edition. Academic Press.
 - Yager, J. (1981). Remipedia, a New Class of Crustacea from a Marine Cave in the Bahamas. *Journal of Crustacean Biology*, 1(3); 328-333.
 - Yager, J. (2016). Collecting and processing remipedes. *Journal of Crustacean Biology*, 36(3); 405-407.
 - Yager, J., y Humphreys, W. F. (1996). *Lasionectes exleyi*, sp, nov., the first remipede crustacean recorded from Australia and the Indian Ocean, with a key to the world species. *Invertebrate Systematics*, 10(1); 171-187.
 - Yáñez-Mendoza, G., Zarza-González E. y Mejía-Ortíz L.M. (2007). 4. Sistemas anquihalinos (49–70 pp). En: Mejía- Ortíz L. M. (Ed.) *Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel*: Universidad de Quintana Roo- CONABIO, Plaza y Valdés, México, D.F. 418 pp.
 - Yun, Y., Wang, H., Man, B., Xiang, X., Zhou, J., Qiu, X. y Engel, A. S. (2016). The relationship between pH and bacterial communities in a single karst ecosystem and its implication for soil acidification. *Frontiers in Microbiology*, 7: 1955.
 - Zarza-González E. (2007). *Adaptaciones morfológicas para la vida subterránea en los decápodos de los cenotes de la Isla de Cozumel, México* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]

XIII. Anexos.

Tabla 1. Promedios de las variables ambientales por profundidad correspondientes a la capa marina, en el muestreo realizado el día 01 de diciembre de 2019.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad en UPS	Oxígeno disuelto (mg/L)
21	23.88	9.34	34.25	0.2
24	23.55	9.43	37.25	0.19
25	23.49	9.52	37.4	0.19
26	23.37	9.38	37.51	0.18
27	23.44	9.36	37.44	0.18
31	23.06	9.37	37.72	0.18
32	23.08	9.36	37.68	0.18
33	23.05	9.35	37.70	0.18
34	23.04	9.35	37.70	0.18
35	23.02	9.36	37.70	0.18
36	23	9.36	37.70	0.18
PROMEDIOS	23.27	9.38	37.218	0.18

Tabla 2. Promedios de las variables ambientales por profundidad correspondientes a la capa marina, en el muestreo realizado el día 15 de diciembre de 2019.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad en UPS	Oxígeno disuelto (mg/L)
20	23.99	9.18	32.06	0.2
23	23.68	9.33	36.56	0.19
24	23.57	9.33	37.2	0.19
25	23.48	9.09	37.42	0.18
28	23.19	9.09	37.67	0.18
30	23.17	9.03	37.68	0.18
31	23.13	9.03	37.69	0.18
32	23.09	9.02	37.70	0.18
33	23.08	9.04	37.71	0.18
34	23.04	9.04	37.72	0.18
PROMEDIOS	23.34	9.11	36.93	0.18

Tabla 3. Promedios de las variables ambientales por profundidad correspondientes a la capa marina, en el muestreo realizado el día 25 de enero de 2020.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad en UPS	Oxígeno disuelto (mg/L)
23	23.61	9.09	36.99	0.19
24	23.44	9.09	37.48	0.18
26	23.41	9.02	37.46	0.18
27	23.36	9.08	37.56	0.18
30	23.1	9.08	37.74	0.18
31	23.2	9.01	37.69	0.18
32	23.07	9.07	37.76	0.18
33	23.05	9.01	37.75	0.18
34	23.03	9.02	37.75	0.18
35	23.01	9.03	37.76	0.18
36	23	9.04	37.77	0.18
37	23	9.04	37.77	0.18
PROMEDIOS	23.19	9.05	37.62	0.18

Tabla 4. Promedios de las variables ambientales por profundidad correspondientes a la capa marina, en el muestreo realizado el día 08 de febrero de 2020.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad en UPS	Oxígeno disuelto (mg/L)
18	23.12	9	37.73	0.18
20	23.29	9	37.57	0.18
24	23.01	9	37.77	0.18
26	23.01	9	37.77	0.18
27	23.67	9.09	36.62	0.19
30	23.56	9.1	37.33	0.19
31	23.16	9.01	37.72	0.18
32	23.44	9.09	37.48	0.18
33	23.18	9.02	37.72	0.18
34	23.10	9.04	37.72	0.18
35	23.01	9.04	37.76	0.18
36	23.03	9.06	37.76	0.18
37	23.06	9.06	37.75	0.18
PROMEDIOS	23.20	9.04	37.59	0.18

Tabla 5. Promedios de las variables ambientales por profundidad correspondientes a la capa marina, en el muestreo realizado el día 22 de febrero de 2020.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad en UPS	Oxígeno disuelto (mg/L)
20	23.98	9.24	32.18	0.2
21	23.89	9.32	34.14	0.2
24	23.51	9.54	37.37	0.19
25	23.46	9.22	37.45	0.18
26	23.36	9.2	37.58	0.18
29	23.30	9.21	37.62	0.18
30	23.20	9.18	37.70	0.18
31	23.12	9.18	37.74	0.18
32	23.11	9.18	37.75	0.18
33	23.09	9.18	37.75	0.18
34	23.04	9.19	37.76	0.18
35	23	9.17	37.77	0.18
PROMEDIOS	23.34	9.23	36.90	0.18

Tabla 6. Promedios de las variables ambientales por profundidad correspondientes a la capa marina, en el muestreo realizado el día 08 de marzo de 2020.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad en UPS	Oxígeno disuelto (mg/L)
25	23.46	9.22	37.45	0.19
26	23.43	9.19	37.46	0.18
27	23.34	9.22	37.59	0.18
30	23.21	9.18	37.69	0.18
31	23.17	9.18	37.71	0.18
32	23.12	9.19	37.73	0.18
33	23.07	9.19	37.74	0.18
34	23.04	9.19	37.75	0.18
35	23.01	9.19	37.77	0.18
PROMEDIOS	23.20	9.19	37.65	0.18

Tabla 7. Promedios de las variables ambientales por profundidad correspondientes a la capa marina, en el muestreo realizado el día 22 de marzo de 2020.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad en UPS	Oxígeno disuelto (mg/L)
24	23.53	9.24	37.35	0.19
25	23.5	9.19	37.43	0.19
26	23.37	9.23	37.54	0.18
27	23.37	9.19	37.54	0.18
29	23.25	9.20	37.68	0.18
30	23.22	9.21	37.69	0.18
31	23.18	9.19	37.70	0.18
32	23.12	9.19	37.73	0.18
33	23.05	9.19	37.75	0.18
34	23.02	9.18	37.76	0.18
PROMEDIOS	23.26	9.2	37.61	0.18

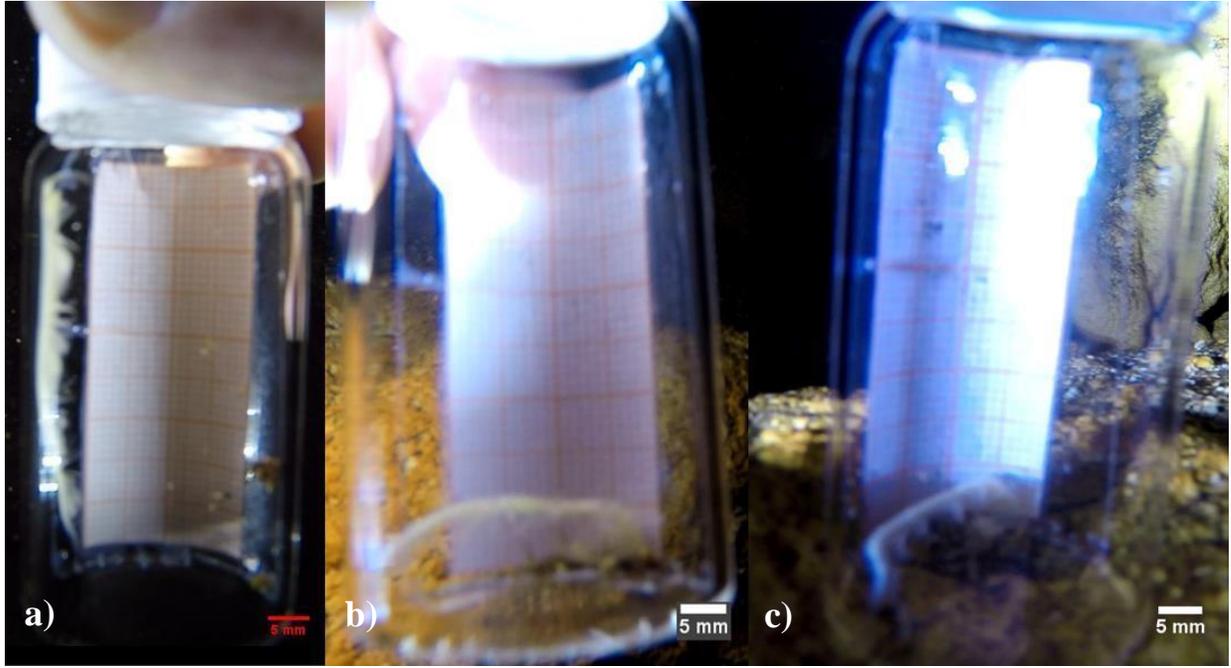


Figura 16. *Xibalbanus cf. cozumelensis* colectados el día 15 de diciembre de 2019 donde se observa el procedimiento de medición de estos, con una escala milimétrica, donde a) 23.3mm b) 33.7 mm y c) 43.4 mm. Fotografías tomadas por Arriaga-Vélez, D.M. 2019



Figura 17. *Xibalbanus* cf. *cozumelensis* correspondiente al muestreo del día 25 de enero de 2019 donde se observa el uso de la tablilla para la medición de este organismo (51.6 mm), ya que no permitía la correcta medición en vial debido a su tamaño, para permitirle una adecuada elongación. Fotografía tomadas por Arriaga-Vélez, D.M. 2019



Figura 18. *Xibalbanus* cf. *cozumelensis* colectado el 8 de marzo de 2020, donde se observa el procedimiento de medición, con una escala milimétrica en vial, con una talla aproximada de 45.4 mm. Fotografías tomadas por Arriaga-Vélez, D.M. 2019



Figura 19. *Xibalbanus cf. cozumelensis* colectados el día 22 de marzo de 2020 donde se observa el uso de la tablilla para la medición de este organismo (56.6 mm), ya que no permitía la correcta medición en vial debido a su tamaño, para permitirle una adecuada elongación. Fotografía tomadas por Arriaga-Vélez, D.M. 2019