



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

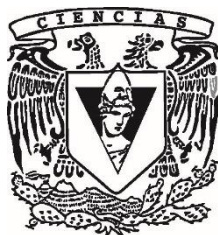
**Índice de prioridad de conservación de sistemas  
anquihalinos en la península de Yucatán, México**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G A  
P R E S E N T A:**

**YOLOXOCHITL MEDINA GALEANA**



**DIRECTOR DE TESIS:  
Dr. Fernando Álvarez Noguera  
Cd. Mx. 2023**



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.

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente, quisiera agradecer a mis papás y mi hermana, por siempre apoyarme, consentirme y por creer en mí. Son mi pilar y siempre estaré agradecida por tenerlos, por enseñarme que todo es posible y que siempre nos tenemos a nosotros para todo y, ante todo. Papás los admiro por todo lo que han logrado, por todo lo que hacen día a día por nosotras y por lo que son. Los amo con todo mi corazón.

A mis abuelas, tíos y primos, por siempre impulsarme, confiar en mí y apoyarme, soy muy afortunada de la familia que tengo y en cada momento difícil o de estrés, verlos me recarga de energía y el corazón sin ustedes saberlo, los amo a todos.

A mi mejor compañero de aventuras, novio y cómplice de vida, Alberto, gracias por sentirte tan orgulloso de todo lo que hago y logré, por estos años, por tu compañía, por todos esos momentos de alegría que me das, por tu amor incondicional, por impulsarme a siempre seguir adelante y por tu apoyo. Eres muy especial en mi vida. Te amo.

A mis amigos: Oscar, Alejandro, Tania, Emi, Naomi, Monses, Raúl, Lore, Carlos y a todas las personitas que me he cruzado en el camino y que me han brindado su amistad, saben que los quiero mucho y aprecio siempre, sin ustedes mi día a día en la escuela no hubiera sido igual, gracias por todos los momentos de diversión, por escucharme, por los consejos, por apoyarme en cada pasito que doy, por ser el mejor equipo, me siento afortunada de estar rodeada de gente como ustedes en mi vida y por demostrarme que no importa el tiempo o la distancia, cuanto con ustedes.

A la Colección Nacional de Crustáceos y a las personas que se encuentran adscritas a esta, por la oportunidad de realizar mi tesis y ocupar datos que han recabado por años para poder realizar el presente trabajo.

Al taller de invertebrados de la zona costera y arrecifal del Golfo de México por todos los conocimientos que me han brindado, por la oportunidad de conocer sitios extraordinarios de los cuales aprendí mucho en cada salida, por la paciencia y por la gran dedicación con la que forman a sus estudiantes.

Al Dr. Fernando Álvarez Noguera porque desde un inicio me abrió las puertas para poder desarrollar mi tesis, por darme la oportunidad de escuchar siempre mis inquietudes e ideas, por la oportunidad de integrarme a su proyecto de sistemas anquihalinos y por todas las pláticas y anécdotas de cada salida que sin duda me motivan a seguir estudiando y aprendiendo más de la biología.

A la M. en C. Gema Yolanda Armendáriz Ortega por ser una pieza clave en mi formación y en el desarrollo de este trabajo, gracias por siempre hacerme dar mi

mayor esfuerzo, por brindarme el tiempo y la gran dedicación que da día a día en la docencia, es admirable el esfuerzo que pone en cada clase o revisión de mi proyecto, la aprecio mucho.

Al Dr. José Luis Bortolini Rosales, quien ha sido parte de mi forma académica, gracias por la paciencia, por el conocimiento, por la orientación, por la dedicación, por los consejos y por las pláticas enriquecedoras, siempre me han ayudado a mejorar. Por ser parte de mis sinodales, por leer mi escrito y apoyarme en esta etapa, no tengo más que palabras de agradecimiento.

A la Dra. Elva Escobar Briones por su paciencia y gran dedicación en la revisión de mi escrito, gracias por el tiempo, las aportaciones y conocimiento invertido, aprecio mucho el interés en mi proyecto.

Al Dr. Luis Zambrano González por sus comentarios a mi escrito, me han ayudado a enriquecer y complementar mi propuesta.

A la M. en C. Brenda Durán Hernández, por su apoyo en las salidas al campo, gracias por compartir tu conocimiento en todo momento, por siempre tener la mejor disposición para resolver mis dudas o inquietudes, lo valoró mucho.

A la M. en C. Verónica Aguilar Zamora por apoyarme con la elaboración de los mapas de este escrito, gracias por la paciencia, disposición y el apoyo.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi abuela, una mujer fuerte, amorosa y muy valiente, quien siempre me apoyó y estuvo orgullosa de todos mis logros, porque no hubo momento en el que no sintiera tu presencia, cariño y apoyo, sin duda en esta última etapa de la cual sé que estabas muy orgullosa, me haces falta. Mi vida la conocí contigo y estuviste en todos esos logros que desde pequeña tuve, este era uno de los que yo sabía que más te enorgullecía y esperabas con emoción que todos tus nietos lográramos y por eso te la dedico. Siempre seguirás acompañándome en todo lo que haga y serás una de las inspiraciones más grande que tenga.

A mis papás, Silvia y Juventino son lo mejor de vida, los amo. Son mi pilar y mi mayor impulso siempre. Gracias por nunca soltarme, por siempre impulsarme y respaldarme. Este es un logro suyo también, son los mejores.

A mi perrita Chiwis quien fue mi fiel amiga por muchos años, por acompañarme en las noches de desvelo y por estar a mi lado cuando escribí la primera parte de este escrito, te extraño mucho, fui la más afortunada de tenerte, hiciste feliz todos mis días y tu compañía fue lo mejor. A mi perrita Tisha, quien ha sido uno de mis soportes estos últimos años, por cuidarme, acompañarme tarde y noche mientras estoy frente a la computadora, por calmar mi estrés en los días difíciles y por seguirme demostrando que uno de los amores más puros es el de los peluditos.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	3
INTRODUCCIÓN .....	5
<b>Características de los sistemas anquihalinos</b> .....	8
<b>Importancia de los sistemas anquihalinos</b> .....	11
<b>Conservación</b> .....	12
JUSTIFICACIÓN .....	16
ANTECEDENTES .....	17
HIPÓTESIS .....	26
OBJETIVOS .....	27
<b>Objetivo general</b> .....	27
<b>Objetivos particulares</b> .....	27
ÁREA DE ESTUDIO .....	28
MATERIAL Y MÉTODO .....	35
<i>Trabajo de campo</i> .....	35
<i>Trabajo de gabinete</i> .....	48
<i>Análisis de datos</i> .....	48
<i>Análisis de similitud</i> .....	49
RESULTADOS .....	52
I. Caracterización de los cenotes .....	52
II. Actividades de los visitantes .....	56
III. Taxones .....	59
IV. Análisis de similitud .....	68
DISCUSIÓN .....	75
I. Uso local de los cenotes y beneficio social .....	75
II. Actividad de los turistas .....	80
III. Taxones .....	81
IV. Análisis de similitud .....	84
V. Análisis del índice de prioridad de conservación .....	84
CONCLUSIONES .....	94
LITERATURA CITADA .....	95
GLOSARIO .....	102
ANEXOS .....	112



## RESUMEN

Los sistemas anquihalinos son acuíferos que se dan a partir de condiciones fisicoquímicas que propician un laberinto de cuevas sumergidas, el cual presenta una capa de agua dulce que por densidad flota sobre una capa de agua salada. Este ecosistema tiene la influencia de la selva por medio de los cenotes o fracturas en el suelo y por otro lado tiene conexión subterránea con el mar.

Los sistemas anquihalinos son de gran importancia en México, ya que abastecen de agua a las comunidades cercanas, generan una derrama económica por el turismo, tienen un gran valor sociocultural y representan una gran ventana a descubrimientos y nuevas líneas de estudio para la ciencia. Sin embargo, los sistemas anquihalinos son considerados ambientes en riesgo. En México están distribuidos principalmente en la península de Yucatán y en la isla Cozumel. Por lo tanto, es necesario proporcionar una conservación adecuada que permita el buen manejo de estos sistemas.

En este estudio se presenta un análisis de varios parámetros de conservación para calcular el índice de prioridad de conservación (IPC) mediante la caracterización de ocho sistemas anquihalinos que se registraron como cenotes, por ser estos las zonas de acceso a estos sistemas localizados en la península de Yucatán, esto se hizo con el fin de determinar su grado de conservación. Se realizó una revisión bibliográfica y de los registros depositados en la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR), del Instituto de Biología, UNAM, de todas las especies de fauna previamente reportada en el área de estudio, analizando aquellas especies



incluidas tanto en la NOM-059 como en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. En total se reportaron 47 especies, todas endémicas de la península de Yucatán, *Typhlatya pearsei* fue la única especie que se presentó en los ocho cenotes estudiados, mientras que seis especies se presentaron sólo en un cenote. Vaca Ha fue el cenote que presentó un mayor número de especies, 10 en total (58.8%), y Ek-bis fue el cenote con un menor número de especies (23.5%). Siete especies están incluidas en la NOM-059 y cinco en la lista de especies amenazadas de la UICN, 17 especies no se encuentran bajo ninguna categoría de riesgo. Con los valores asignados según los criterios de conservación para calcular el IPC se concluye que el cenote X'batun fue el que obtuvo menos valor de IPC (23 puntos), el cual refleja un menor estado de conservación en comparación con los otros, mientras que el mayor valor de IPC fue para el cenote Buenavista con 37 puntos. El índice propuesto está basado en identificar los cenotes con alto valor biológico y alta diversidad. Se propone que se conserven con prioridad aquellos sitios que aún no han sido impactados, porque son los que mantienen condiciones ambientales originales (biota y el medio físico) y un mayor número de especies. Por lo tanto, nuestro índice de prioridad de conservación da una mayor puntuación a estos sitios. Lo anterior se hace bajo el supuesto de que se tengan que jerarquizar, mas no descartar los sitios por disponibilidad limitada de recursos.

### **Palabras clave**

Cenote, preservación, manejo, kárstico, ecosistema





## ABSTRACT

Anchialine systems are aquifers that arise from physicochemical conditions that foster a labyrinth of submerged caves, which presents a layer of fresh water that, due to its density, floats on a layer of salt water. This ecosystem has the influence of the jungle through the cenotes or fractures in the ground and on the other hand, it has an underground connection with the sea.

Anchialine systems are of great importance in Mexico since they supply water to nearby communities, generate economic benefits from tourism, have a high sociocultural value, and are a great window to discoveries and new lines of study in science. However, anchialine systems are considered environments at-risk. In Mexico, they are distributed mainly in the Yucatán Peninsula and on the island of Cozumel. Therefore, it is necessary to provide adequate conservation that allows the good management of these systems.

This study presents an analysis of several conservation parameters to calculate the conservation priority index (IPC) through the characterization of eight anchialine systems, which were registered as cenotes, as these are the access areas to these systems located in the Yucatán Peninsula. This was done in order to determine its degree of conservation. A literature review was carried out and of the records deposited in the National Collection of Crustaceans (CNCR) of the Institute of Biology, UNAM, of all the fauna species previously reported in the study area, analyzing those species included in both the NOM-059 and the IUCN Red List of Threatened Species. In total, 47 species were reported as endemic to the Yucatán Peninsula. *Typhlatya pearsei* was the only species that occurred in the eight cenotes



studied, while six species occurred only in one cenote. Vaca Ha was the cenote that presented the highest number of species, 10 in total (58.8%), and Ek-bis was the cenote with the lowest number of species (23.5%). Seven species are included in the NOM-059; five are in the IUCN list of threatened species; and 17 species are not under any risk category. With the values assigned according to the conservation criteria to calculate the IPC, it is concluded that the X'batun cenote was the one that obtained the lowest IPC value (23 points), which reflects a lower state of conservation compared to the others, while the highest IPC value was for the Buenavista cenote with 37 points. The proposed index is based on identifying cenotes with high biological value and diversity. It is proposed that those sites that have not yet been impacted be conserved with priority because they are those that maintain original environmental conditions (biota and the physical environment) and a greater number of species. Therefore, our conservation priority index gives these sites a higher score. The above is done under the assumption that sites have to be prioritized but not discarded due to the limited availability of resources.

### **Keywords**

Cenote, preservation, management, karstic, ecosystem



## INTRODUCCIÓN

El término “anquihalino” se deriva del griego (*anchi* - cerca y *halos* - mar) y significa cerca del mar (Álvarez y Iliffe, 2008). A partir de condiciones fisicoquímicas e historia geológica se forma un laberinto de cuevas sumergidas, único en algunos lugares del mundo denominado sistemas anchihalinos (Álvarez *et al.*, 2000). Es un complejo ecosistema subterráneo que incluye pasajes o tubos de lava volcánica completamente sumergidos con gradientes verticales y horizontales de salinidad (denominados cuevas) que presentan por un lado la influencia de la selva o superficie a través de fracturas, pozas abiertas en tierra firme o pozas dentro de cuevas de piedra caliza cárstica que se dan por el colapso, siendo estos últimos, la única zona iluminada del sistema y por otro lado presenta la influencia del mar por conexiones subterráneas (Álvarez y Iliffe, 2008).

Holthuis (1973), define un hábitat anchihalino como un cuerpo de agua sin conexión superficial con el mar que contiene agua salada o salobre y que se encuentra bajo la influencia de las mareas.

Los sistemas anchihalinos se encuentran principalmente en islas de los trópicos, pero pueden existir en penínsulas como la de Yucatán (México) y Cape Range (Australia Occidental) donde el entorno hidrológico del agua subterránea (es decir, lente de agua dulce o salobre) se encuentra separada por el cambio en el gradiente vertical de salinidad a una distancia corta (haloclina) por tanto, es más parecido a islas que a continentes (Iliffe, 2018).



De manera particular en México, los sistemas anquihalinos se vinculan estrechamente con la superficie a través de los cenotes (Álvarez *et al.*, 2000). Un cenote es un pozo, estanque o manifestación cárstica, formado por la disolución y el colapso de roca caliza que expone el acuífero, constituye la vía de entrada más importante de materia orgánica y el único acceso de luz de los sistemas anquihalinos (Chávez, 2015).

La palabra cenote viene del vocablo maya *ts'ono'ot* o *d'zonot*, que significa “caverna con depósito de agua”. Este término se ha generalizado para designar a la mayoría de las manifestaciones kársticas en la península de Yucatán. Los cenotes son sistemas complejos, dinámicos e integra la zona acuática iluminada en tierra de los sistemas anquihalinos. Su origen se debe al proceso geomorfológico denominado *karst*, que consiste en la combinación de los mecanismos de disolución y colapso de la caliza (Beddows *et al.*, 2007).

En estos procesos están involucrados factores intrínsecos y extrínsecos, los cuales actúan en diferentes escalas de tiempo y espacio, generando una amplia gama de formas y grados de carstificación. Los primeros incluyen la litología, el grado de porosidad de la matriz, la fractura de la roca y la circulación subacuática del agua. Los segundos incluyen el clima, la temperatura, la vegetación, la mezcla de agua dulce y salada. El resultado es la disolución de rocas (yeso, caliza, dolomita y halita) por corrosión química con base en las condiciones hidrológicas imperantes, que resultan en modificaciones del terreno e incremento de la permeabilidad debido al desarrollo de grandes sistemas de drenaje subterráneo (Beddows *et al.*, 2007).



En México el acuífero de los sistemas anquihalinos forma parte de la gran reserva hidrológica del país (Enseñat-Soberanis *et al.*, 2020).

Los sistemas anquihalinos están habitados por un conjunto característico de especies estigobitas endémicas (es decir, organismos acuáticos obligados y adaptados a las condiciones particulares de las cuevas). También se ha citado que son especies con afinidades de aguas profundas. Así mismo, son formas novedosas de origen desconocido, que a menudo representan taxones nuevos y superiores (es decir, nuevos géneros, familias, órdenes e incluso una nueva clase, Remipedia) (Ilfie y Kornicker, 2009). Aunque los crustáceos son los invertebrados estigobíticos anquihalinos dominantes en este particular ecosistema, también se han descrito esponjas, turbelarios, equinodermos, gasterópodos, anélidos, quetognatos, cnidarios y tantulocáridos (Ilfie, 2018).

Los crustáceos representan el grupo más diverso en las cuevas anquihalinas de la península de Yucatán, con 51 especies que pertenecen a 4 clases, 9 órdenes, 23 familias y 36 géneros. Este grupo muestra un alto nivel de endemismo en la península de Yucatán, con dos familias (*Anchialocarididae*, *Tulumellidae*), 9 géneros (*Mexicophria*, *Tulumella*, *Mayaweckelia*, *Tuluweckelia*, *Creaseriella*, *Yucatalana*, *Yagerocaris*, *Anchialocaris*, *Creaseria*), y 44 especies que se encuentran sólo en la península de Yucatán. Es interesante observar que el endemismo está presente en diferentes niveles taxonómicos, desde familias hasta especies, y que ocurre en linajes muy distantes y no relacionados, lo que sugiere que son el resultado de procesos de aislamiento a gran escala. Por grupo, los decápodos son los más diversos (16 spp.), seguidos de los copépodos (12 spp.),

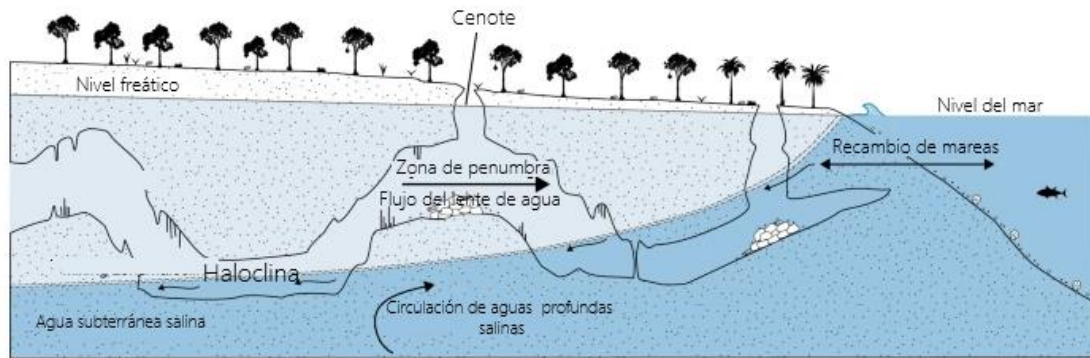


isópodos (7 spp.), anfípodos (6 spp.), remípedos, ostrácodos y mísidos (3 spp.), y los termosbaenáceos (1 sp.). El número de especies de crustáceos anquialinos de la península ha aumentado constantemente, lo que sugiere que se describirán más especies en los próximos años, especialmente en copépodos y peracáridos (Álvarez *et al.*, 2023).

### **Características de los sistemas anquihalinos**

A lo largo de cientos de kilómetros de galerías sumergidas, se presenta una interacción entre el agua dulce del continente que se dirige hacia el mar, impulsada por la gravedad y el agua marina que asciende a través de los mismos conductos, tierra adentro, impulsada por la marea, el viento de tormenta y recientemente el desecho de aguas urbanas e industriales. El agua dulce continental menos densa y más ligera se desplaza por encima del agua marina, salada, haciendo que cerca de la costa el río subterráneo fluya como un estuario hacia el mar y desde el mar hacia el interior del continente. El agua dulce está habitada por una biota diversa y única. Es la fuente primaria de abastecimiento de agua potable para las comunidades locales, con un potencial de acúmulo de residuos de los efluentes industrial y doméstico, muchas comunidades los usan como fuente de recreación y para el turismo (Álvarez *et al.*, 2000).

El resultado de la interacción de estas dos masas de agua es la creación de un sistema dinámico, en el cual el grosor de la porción de agua dulceacuícola y marina varían a lo largo del sistema, de la hora del día y de la época del año. El cambio de salinidad en el gradiente vertical se denomina haloclina que separa ambas capas de agua (Figura 1) (Álvarez *et al.*, 2000).



**Figura 1.** Esquema representativo de un sistema anquihalino. Tomado y modificado de Brankovits *et al.* (2017).

En la mayoría de los cenotes de Yucatán, el acuífero está estratificado por densidad, con una lente de agua dulce más fría que recubre una zona de agua salina más cálida (Beddows *et al.*, 2007).

Los cenotes se pueden clasificar en abiertos (con paredes verticales), tipo aguada (con un perfil en forma de plato), tipo cántaro (el colapso del techo de menor en relación al diámetro de la alberca) y en forma de caverna (el acceso es de manera lateral o con entrada, por un lado, se encuentra oculto dentro de una cueva de manera que pasa desapercibida) (Hall, 1936). Los cenotes abiertos a menudo reciben grandes aportes de materia orgánica (p.ej. hojas o refractaria que no es fácilmente degradable) de modo que el agua tiene condiciones anóxicas, esto es por la remineralización de la materia orgánica lábil que comúnmente puede ser disuelta, no de la refractaria (resultado de los desechos de las zonas urbanas o industriales). Varios metros o más por debajo de la haloclina, se forman nubes de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) con un característico olor a "huevo podrido". En aquellas



cuevas con circulación horizontal de agua de mar desde el océano, los niveles de oxígeno disuelto se recuperan por debajo de la capa de sulfuro de hidrógeno, pero en la mayoría de los casos, el agua de mar subyacente se aclara, pero permanece anóxica y solo están presentes microorganismos anaeróbicos obligados. Para aquellas cuevas en las que la afluencia de materia orgánica es menor, la capa de agua salada tiende a ser hipóxica, pero la fauna con adaptaciones metabólicas especializadas puede sobrevivir y en ocasiones prosperar (Bishop *et al.*, 2004). El ambiente de los sistemas anquihalinos se asemeja al del mar profundo por la falta de luz, la estabilidad de las condiciones y la reducida concentración de materia orgánica o alimento (Álvarez *et al.*, 2000).

La mayoría de los sistemas anquihalinos se forman en piedra caliza por disolución, también las hay en roca volcánica como tubos de lava sumergidos o asociados a grietas tectónicas (Ilfie y Álvarez, 2018).





## **Importancia de los sistemas anquihalinos**

Cenote: En Yucatán históricamente, los cenotes han servido a los pueblos mayas peninsulares para abastecerse de agua y además, son parte de un rico embalaje de mitos, creencias y rituales de gran importancia en la cosmovisión y prácticas de los mayas peninsulares (Cortés, 2018). Además de su importancia sociocultural, los cenotes constituyen un recurso biológico conocido sólo parcialmente. Sus aguas, expuestas en mayor o menor grado a las condiciones ambientales imperantes del exterior, proporcionan un ambiente peculiar en el cual se han desarrollado formas de vida únicas. Sus características físicas, resultado de los rasgos geográficos prevalecientes en la región y la historia geológica de los sustratos que lo constituyen, tienen una influencia decisiva en el funcionamiento de estos ecosistemas. Las formas y conectividad de los cenotes no solamente afectan las condiciones del cuerpo de agua sino también el ambiente circundante, del cual depende, en gran medida, el ecosistema en su conjunto (Medina- González, 2015).

Para la zona de penumbra, los cenotes ofrecen hábitats dulceacuícolas y son rutas por las cuales la materia orgánica ingresa a las aguas subterráneas. La materia orgánica ingresada a estos sistemas sostiene la trama alimentaria en los cenotes y del sistema de ductos subterráneos que conectan al sistema anquihalino (Schmitter-Soto *et al.*, 2002).

El estudio de los sistemas anquihalinos está en la frontera de la exploración, donde están por descubrirse nuevos procesos biológicos, Por ejemplo, las diferentes escalas que determinan el aislamiento y la diferenciación de especies.



El estrecho vínculo que guarda el equilibrio dentro de las cuevas, con lo que sucede en el exterior, demanda que se considere una protección para estos ecosistemas pobremente documentados, con un elevado endemismo y frágiles, en los que la intervención de carácter antrópico puede desencadenar una serie de alteraciones del ecosistema que pueden ser irreversibles (Álvarez *et al.*, 2000).

### **Conservación**

Los sistemas anquihalinos son altamente susceptibles a la contaminación por su composición geológica, ya que son muy porosos y permiten el paso de contaminantes desde la superficie: residuos sólidos, pesticidas, herbicidas y metales pesados. Dada la fragilidad de los ecosistemas anquihalinos, su capacidad de resiliencia es muy limitada, en especial ante las múltiples presiones humanas derivadas del rápido y deficientemente planeado crecimiento poblacional y turístico (Rosenzweig y Álvarez, 2021).

Se ha encontrado la presencia de coliformes fecales, fertilizantes, pesticidas, drogas y estupefacientes en diferentes cenotes, así como en las cuevas asociadas a estos cuerpos de agua, principalmente en la capa de agua dulce. Se cree que este hecho está relacionado con la haloclina que funciona como una trampa de densidad que no permite el paso de la comunidad bacteriana y otros materiales a la capa de agua salada. Debido a la extrema fragilidad y vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, el desarrollo en la superficie representa una amenaza significativa no solo para la estabilidad de este valioso recurso natural y cultural, sino también para su valiosa riqueza de especies y endemismos, y para el bienestar económico y social de la región (Álvarez *et al.*, 2023).



La integridad de los sistemas de aguas epicontinentales, como lo son los sistemas anquihalinos y su diversidad biológica se encuentran cada vez más amenazadas por las actividades humanas. Por tal motivo, es importante tanto en términos informativos, como formativos, ampliar y profundizar el tema del estado actual de estos sitios, por un lado, es útil para investigadores dedicados a las ciencias naturales, exactas o sociales y por otro lado, para funcionarios, tomadores de decisiones y conservacionistas (Arriaga *et al.*, 2000).

La planificación, conservación y manejo sustentable de los ecosistemas, su biodiversidad y los recursos naturales que albergan requiere que algunas áreas se mantengan en su estado natural o lo menos perturbadas posibles, ya que para los ambientes que ya han sido dañados y modificados radicalmente se necesitan además medidas de restauración (Salm *et al.*, 2000).

Existen distinciones importantes entre la conservación y restauración que afectan la forma en que pueden responder a los desafíos de un mundo cambiante (Tabla 1) (Young, 2000; Young *et al.*, 2005). La restauración a menudo comienza cuando un área ha sido muy alterada o degradada, aunque puede iniciarse en cualquier lugar a través de una variedad de estados de alteración. En contraste, la conservación generalmente se ocupa de preservar y proteger los lugares menos degradados, aquellos que ofrecen el mayor potencial para mantener o mejorar la biodiversidad o para proporcionar hábitat a poblaciones y especies. Como los recursos son insuficientes para satisfacer todas las necesidades y los rápidos cambios ambientales, es necesario establecer prioridades. Independientemente de cómo se haga, la priorización define qué se debe hacer primero o qué se puede



lograr mejor con los recursos disponibles. Generalmente no indica explícitamente qué no hacer. Dado que no todo se puede restaurar o conservar. En un mundo ideal, habría suficiente dinero para salvarlo todo, pero en cambio nos enfrentamos a una lista cada vez mayor de especies en riesgo inminente de extinción, una extensión y condición de hábitat en declive, incertidumbre sobre la probabilidad de éxito de las inversiones y unas condiciones inadecuadas. En estas condiciones, es esencial que los recursos escasos se asignen para maximizar la persistencia de activos valiosos (por ejemplo, características biológicas) que desaparecerán sin tratamiento, es decir, sin acciones de conservación (Bottrill *et al.*, 2008; Hobbs *et al.*, 2003).

**Tabla 1.** Características de la restauración y conservación. Tomado de Wiens y Hobbs (2015).

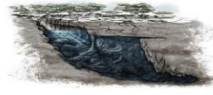
<b>Característica</b>	<b>Restauración</b>	<b>Conservación</b>
<b>Punto de partida</b>	Sistemas degradados	Mejores lugares actuales
<b>Conductores</b>	Regulaciones, economía	Ética medioambiental
<b>Enfocar</b>	Usos utilitarios y humanos.	Valores idealistas y naturales.
<b>Objetivos</b>	Comunidades, ecosistemas, vegetación.	Especies, poblaciones, animales.
<b>Meta</b>	Regreso a la condición anterior a la perturbación.	"Condiciones naturales
<b>Objetivos</b>	Reparar daños	Preservar la naturaleza, mantener la biodiversidad.
<b>Comportamiento</b>	Recrear ecosistemas, mitigación, compensaciones.	Proteger áreas, establecer reservas.

La planeación sistemática de la conservación es fundamental para hacer más eficiente la inversión en la protección de biodiversidad, especialmente cuando los fondos son limitados (Latofski-Robles, 2012). Hasta hace algunos años ninguna de las partes que compone a los sistemas anquihalinos figuraban en los planes de conservación, aunque han existido intentos aislados para protegerlos. En México,



se han incluido a los cenotes en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, también se han realizado esfuerzos mediante diferentes dependencias gubernamentales para incluirlos en planes de conservación, como en las regiones hidrológicas prioritarias de uso y amenazadas, áreas naturales protegidas, así como en sitios prioritarios acuáticos epicontinentales (Rojo, 2005; Arriaga *et al.*, 2000).

La biodiversidad abarca la complejidad de los ecosistemas, especies, sus poblaciones, su variabilidad genética y sus interacciones. Por lo tanto, difícilmente podría existir una medida universal e inconfundible para identificar los sitios de mayor biodiversidad o los más relevantes para la conservación que considere la totalidad de los elementos del sistema. Por esta razón se requieren estudios con diferentes enfoques y escalas aplicados a los diversos elementos de la biodiversidad, con el fin de tener el mayor número de criterios y atributos disponibles para identificar sitios prioritarios para la conservación, especialmente cuando los recursos son una limitante (Koleff *et al.*, 2007). Por lo anterior, se propone en este escrito, un índice que hace un aporte a la conservación de los sistemas anquihalinos, de los elementos que lo componen y tienen interacción con estos. Esto se logra a través de diferentes parámetros propuestos que abarcan diferentes zonas de los sistemas anquihalinos, especialmente de los cenotes por ser una de las zonas a las que se tiene fácilmente acceso, que es una de las vías de entrada de contaminantes y porque el deterioro alrededor de estos sitios puede afectar a todo el acuífero que está conectado, entendiendo a los cenotes y los sistemas anquihalinos como un mismo sistema por su conexión.



## JUSTIFICACIÓN

Los sistemas anquihalinos son sistemas de los cuales se sigue obteniendo información nueva en cuanto a los organismos que los habitan, así como de las interacciones y procesos que se dan dentro de estos sitios. México es de los pocos países en el mundo que cuentan con este tipo de sistemas. Estos son importantes porque económicamente los cenotes de estos sistemas son usados para actividades turísticas, para abastecer de agua a las comunidades cercanas y para la ciencia representan una nueva fuente de conocimiento en muchas áreas; un ejemplo de esto es el descubrir las interacciones que se presentan en estos lugares o en la taxonomía, al registrar y describir especies nuevas, incluso endémicas de estos sitios. Por lo tanto, es necesario ofrecer, diseñar y aplicar una serie de esfuerzos para su conservación adecuada que permita la preservación y buen manejo de estos ecosistemas.



## ANTECEDENTES

### Cenotes

Alcocer *et al.* (1998) analizaron hidroquímica y bacteriológicamente las aguas de cinco cenotes que se utilizan para actividades recreativas en el corredor turístico Cancún-Tulum. Determinaron que varios parámetros exceden lo establecido en la Norma Mexicana para Agua Potable, pero como no representan una amenaza significativa para la salud, cuatro de los cinco cenotes pueden usarse como fuentes de abastecimiento de agua potable. Aunque estos cuatro cenotes cumplen con los parámetros de la Norma Mexicana para Agua Potable, es necesario desarrollar una política de manejo adecuada del agua subterránea para evitar la contaminación de este recurso (fecal y por nitratos).

Sánchez *et al.* (2002) detallaron la composición taxonómica de las comunidades de algas en suspensión en cinco cenotes y dos cuevas anquihalinas en el noreste de Quintana Roo, México. Los investigadores identificaron un total de 79 especies, de las cuales, las diatomeas fueron las más importantes con respecto a la riqueza de especies con un total del 75%. Mencionaron que la distancia de un cenote con respecto a la costa, fue un factor determinante en la composición de especies. El mayor porcentaje de especies que registraron (95%) fueron de agua dulce y solo el 5% del número total de especies que identificaron fueron de origen marino.



Hoogesteijn *et al.* (2005) reconocieron cuan generalizada está la contaminación fecal en los cenotes de interés turístico y recreacional en el estado de Yucatán, mediante la toma de muestras de agua de 48 cenotes con potencial turístico promocionados en la red. A las cuales se les determinó la presencia de coliformes totales y fecales. Encontraron que todos los cenotes analizados presentaron contaminación fecal y mencionaron que, si las políticas gubernamentales contemplan el uso de cenotes como centros turístico-recreacionales, estos programas deberían venir acompañados de una política de saneamiento, puesto que los cenotes no son piscinas y no deberían ser usados como tal, sin sistemas de saneamiento adaptados a la ecología del karst.

Camargo *et al.* (2013) describieron la estructura de la comunidad de peces en cuatro cenotes durante las estaciones lluviosa y seca durante un período de cuatro años y la relacionaron con la dinámica limnética en cada cenote. Encontraron que no hay diferencias en las variables fisicoquímicas entre estaciones, pero sí encontraron diferencias entre años y entre cenotes. Reportan 11 especies de peces (25% de la riqueza total reportada para la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an) de cinco familias: Cichlidae, Poeciliidae, Characidae, Pimelodidae y Synbranchidae. Mencionan que las variables fisicoquímicas y la estructura de la comunidad de peces no se ven afectadas por la dinámica hidrológica estacional, lo que sugiere que los cenotes son sistemas acuáticos estables en comparación con los humedales circundantes. Otros factores limnéticos como la morfología de los cenotes, también están relacionados con la estructura de la comunidad de peces.





Medina-Moreno *et al.* (2014) estudiaron en una amplia zona geográfica y en dos temporadas vacacionales, la presencia de hidrocarburos contaminantes en cenotes del estado de Quintana Roo. Encontraron fenantreno, naftaleno y benceno entre los hidrocarburos contaminantes más comunes presentes en los cenotes ubicados en Cancún y Playa del Carmen, dos polos turísticos bien desarrollados. En otras regiones de Quintana Roo, con desarrollo de turismo intermedio (Puerto Morelos, Tulum, Cozumel y Bacalar) encontraron la presencia de hidrocarburos también. En comparación, Holbox, que es un reciente polo de desarrollo turístico, donde el transporte de turistas y lugareños es bajo, no presentaron contaminación de hidrocarburos. Mencionaron que la concentración de hidrocarburos también está relacionada con la temporada turística, los cenotes durante la temporada "alta" mostraron mayor concentración y diversidad de hidrocarburos que en la temporada "baja".

Martínez y Martínez (2016) identificaron la relación existente entre la presencia de flora y la de tardígrados en cenotes de la península de Yucatán. Encontraron tardígrados en cenotes que presentaban flora y no en los carentes de ella, logrando con ello una aportación del conocimiento de la microfauna de estos sitios.

Grego *et al.* (2019) realizaron investigaciones bioespeleológicas de varios cenotes en la región oriental del estado de Yucatán, México. Encontraron dos nuevas especies de gasterópodos, las describieron como *Mexicenotica xochii* gen. n. et sp. n. y *Pyrgophorus thompsoni* sp. n. Ambas especies representaron el primer



registro de especies de gasterópodos estigobiontes de los cenotes de Yucatán, lo que indica el alto potencial de biodiversidad del área estudiada.

Enseñat-Soberanis *et al.* (2020) midieron y compararon, a través del indicador de percepción de congestión, los impactos de la masificación en la experiencia del visitante en los cenotes Dzombakal y X´batún en San Antonio Mulix, Yucatán. Tomando en cuenta tres tipos de visitantes: locales, nacionales y extranjeros. Mostraron que la aceptabilidad de los visitantes a la congestión disminuye conforme aumenta el número de personas en ambos cenotes. Los visitantes extranjeros en los dos cenotes toleran menos la congestión mientras que los locales son el grupo que presentan niveles de tolerancia más altos.

### **Sistemas anquihalinos**

Álvarez *et al.* (2000) describieron generalidades de los sistemas anquihalinos en la costa de Quintana Roo en el Caribe mexicano. Determinaron cómo es la formación de estos sistemas, la dinámica de las aguas dentro de los sistemas, el origen, diversidad y adaptaciones de la fauna, así como el manejo y desarrollo de los recursos acuáticos de la zona. Con sus resultados preliminares plantearon que los sistemas anquihalinos deberían considerarse dentro de los ambientes en riesgo, dado el gran crecimiento de asentamientos humanos, la expansión municipal e industrial y el desarrollo económico sustancial en la región vinculada al turismo

Mejía-Ortiz *et al.* (2007) realizaron cinco censos en una cueva anquihalina de la isla de Cozumel, México, con el fin de determinar la diversidad de invertebrados, especialmente del filo Echinodermata. Identificaron tres clases principales de



equinodermos. La primera clase es Asteroidea, ubicada debajo de la haloclina en aguas marinas (37 ppt) a 256 m de la entrada y a 45 m de la entrada en aguas marinas. La segunda clase es Ophiuroidea, ubicada debajo de la haloclina en aguas marinas a 40 y 336 m de la entrada y la tercera clase, Echinoidea, se ubicó en aguas marinas a 60 m de la entrada.

Álvarez e Iliffe (2008) realizaron una lista con observaciones de todas las especies anquihalinas que han sido registradas en la península de Yucatán, actualizando revisiones anteriores. Encontraron 45 especies y con estos resultados duplicaron el número de especies conocidas para los sistemas anquihalinos.

Cervantes y Gutiérrez-Aguirre (2009) presentaron una descripción de la limnología básica del Cenote Azul, un sistema kárstico de Quintana Roo, México. Encontraron condiciones oligotróficas con altas concentraciones de oxígeno disuelto, transparencia y bajas concentraciones de clorofila a. El pH, la concentración de oxígeno a nivel superficial (0-30 m) y la temperatura, estuvieron dentro de los criterios ecológicos de calidad del agua para la protección de la vida acuática.

Álvarez *et al.* (2015) presentaron nuevos registros para 17 especies de crustáceos de sistemas anquihalinos en la península de Yucatán, México. Estos registros provinieron de exploraciones en Dzilam de Bravo, Yucatán, de Puerto Aventuras y de los sistemas de cuevas Nohoch Nah Chich y Ox Bel Ha, cerca de Tulum en Quintana Roo, México. Encontraron que, para cinco de las 17 especies, los registros constituyeron la segunda vez que esas especies se registran posterior



a las descripciones originales. Para *Yagerocaris cozumel* (Caridea: Alpheidae), presentaron el primer registro en Yucatán y *Jonga serrei* (Caridea: Atyidae), el segundo registro para México.

Calderón-Gutiérrez *et al.* (2017) presentaron una lista de verificación completa de todas las especies que ocurren en el sistema anquihalino “El Aerolito” en Cozumel, Quintana Roo, que ha sido identificado como uno de los más ricos y con mayor biodiversidad del mundo, e incluyeron una revisión exhaustiva de toda la fauna mexicana anquihalina, que abarcó registros desde 1938. Encontraron que el sistema El Aerolito tiene 100 especies, 53 como nuevos registros, clasificadas dentro de 10 phyla, de los cuales Porifera, Echinodermata y Annelida, son los grupos más ricos en contraste con el resto de las cuevas anquihalinas del mundo, donde el filo dominante es Arthropoda, 12 de las especies listadas ya están catalogadas en alguna categoría de extinción por la normativa nacional vigente (NOM-059) o en la Lista Roja de la UICN.

Benítez *et al.* (2019) realizaron un estudio que describió la diversidad y el patrón de distribución de la fauna estigobítica en el sistema de cuevas anquihalinas Ox Bel Ha en la península de Yucatán, México. Para lo cual, recolectaron un total de 15 especies de crustáceos en tres censos en cuatro puntos situados a lo largo de un transecto de 10.2 km perpendicular a la línea costera. Encontraron que todas las especies registradas, excepto una, ocurrieron a lo largo del transecto sin un patrón definido. La abundancia y riqueza de especies no varió significativamente con la distancia a la costa, mientras que la diversidad alcanzó su punto máximo en



el segundo sitio de muestreo a 3.17 km de la costa. La mayoría de los organismos se presentaron solo en la capa de agua dulce, excepto el remipedio *Xibalbanus tulumensis* que se encontró siempre en o debajo de la haloclina y otras cinco especies que se encontraron arriba y debajo de la haloclina. En la escala horizontal, la composición y ocurrencia de especies se mezclaron sin un patrón definido, tanto para las fechas de muestreo como para los sitios.

### **Conservación**

Mercado-Salas *et al.* (2013), analizaron la distribución espacial de 212 especies de crustáceos acuáticos continentales en relación con la cobertura geográfica de áreas naturales protegidas (ANP) de la península de Yucatán. Encontraron que, aun cuando la península de Yucatán es un área con una alta biodiversidad de crustáceos continentales y también es un área importante de endemismo a nivel mundial, la mayor parte de la fauna de crustáceos está en riesgo, 39 de estas (18.5%) registradas en la península de Yucatán y solo el 3.2% de las formas endémicas se distribuyen dentro de los límites de un área protegida. Además, solo cinco de las 48 especies endémicas están incluidas en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-2010) y ninguna de ellas se encuentra en un área protegida. Y afirman que actualmente, las áreas de mayor preocupación, debido a la alta presión turística, son el Corredor Tulum - Puerto Morelos y el Anillo de Cenotes, ambos con un número significativo de formas endémicas.

Chavez *et al.* (2015) revisaron y analizaron los métodos utilizados para la identificación de áreas prioritarias para conservación. Analizaron las técnicas



cuantitativas que parten de análisis simples y la experiencia de expertos, así como las cuantitativas que se basan en el uso de modelos estadísticos y de optimización. Encontraron que las etapas mínimas que deben llevarse a cabo son la definición del objetivo por priorizar, la selección y el procesamiento de criterios; la identificación de restricciones y amenazas; así como la elección de áreas mediante métodos de optimización. Concluyeron que el conocimiento de las diferentes metodologías facilita a los tomadores de decisiones elegir o combinar las más adecuadas para el objetivo que se tenga.

Uhu Yam (2019) proponen áreas prioritarias para la conservación de peces y crustáceos en la Península de Yucatán, considerando el índice Vane-Wright a partir de una lista biótica de 217 especies. Señalo 33 de 174 unidades geográficas operativas (OGUs) como zonas prioritarias para su conservación, principalmente por su alto nivel de riqueza y sus especies endémicas. Para el estado de Yucatán: al centro-norte, se establecieron seis áreas; en Campeche otras siete y los diecisiete restantes se distribuyen a lo largo del estado de Quintana Roo. En Cozumel, los estudios se concentran en la zona sur y centro oeste, representada en una sola unidad geográfica, la cual resultó prioritaria por su alta diversidad y la segunda unidad con mayor endemidad de la Península de Yucatán.

Bautista (2021) presenta los principales impactos ambientales que el exceso de visitantes causa en los cenotes, así como las estrategias para mitigar. Expone las estrategias de manejo del visitante más usadas en áreas naturales protegidas como la capacidad de carga y el límite de cambio aceptable y hace énfasis en la



importancia de aplicarlas en los cenotes turistificados. Señala la utilidad y efectividad de la interpretación ambiental no solo como transmisora de datos científicos, sino como provocadora de pensamientos que despierten en el turista el deseo de conservar estos ecosistemas subterráneos tan frágiles, debido a que defiende la idea de que no es el exceso de turistas per se lo que deteriora y contamina estos ecosistemas, sino su mal manejo.



## HIPÓTESIS

Si los parámetros de conservación propuestos (acceso, interacción, vegetación circundante, cantidad de visitantes, tipo de actividad preferente, grado de perturbación, distancia al mar, riqueza, especies endémicas, especies incluidas en la NOM-059 y en la lista roja de especies amenazadas de la UICN, especies bajo ninguna protección) para calcular el índice de prioridad de conservación (IPC) de los sistemas anquihalinos en México, nos ayudan a comprender el nivel de conservación de los sistemas estudiados; entonces aquellos sistemas anquihalinos más conservados, presentarán los valores de IPC más elevados.





## OBJETIVOS

### Objetivo general

Proponer un Índice de Prioridad de Conservación (IPC) de los sistemas anquihalinos de la península de Yucatán, México que permita priorizar sitios con base en las mejores condiciones de conservación.

### Objetivos particulares

- Desarrollar un IPC que identifique aquellos cenotes en donde se maximiza la biodiversidad que se puede conservar.
- Caracterizar el estado actual de los sistemas anquihalinos que se emplean para calcular su IPC.
- Calcular el IPC en cada sistema anquihalino estudiado, mediante la evaluación de los parámetros propuestos.
- Reconocer con el IPC el grado de alteración de los sistemas anquihalinos.



## ÁREA DE ESTUDIO

La península de Yucatán, se sitúa precisamente en el extremo sureste de la República Mexicana. Está limitada por el litoral del Golfo de México al oeste y al norte. Al este se encuentra el Mar de las Antillas y al sur la región ístmica de América central. Tiene un ancho medio de 350 km y una longitud de 500 km. De esta área, tres cuartas partes pertenecen a México, una octava parte a Guatemala y otra más a Belice (UNAM, 1998).

El territorio que ocupa la península de Yucatán tiene características físicas muy peculiares, diferentes de las del resto de México, entre ellas, la uniformidad de su superficie que es visualmente plana, la ausencia de corrientes de agua superficiales y la losa caliza que la cubre, formada de sedimentos cretácicos carentes de mineralización (UNAM, 1998). Esta superficie plana muestra apenas una inclinación de sur a norte. Solo cuenta con una pequeña cadena montañosa muy estrecha y alargada en dirección noroeste-sureste llamada la Sierrita de Ticul, con 200 m de elevación máxima que se originó como resultado del movimiento de fragmentos o placas tectónicas de la corteza terrestre (INEGI, 2002).

La naturaleza caliza de su suelo, trasmite el agua y la deposita en mantos subterráneos formando sistemas anquihalinos. Algunos de los cuales son visibles desde la superficie por agujeros circulares con paredes en forma de embudos, denominados cenotes y éstos constituyen parte del atractivo de la región. Prácticamente no hay ríos importantes, solo de corto recorrido. Se encuentran en la región oriental de la península, donde las lluvias son más abundantes (UNAM,



1998). Esto se debe a que la geología superficial de la península de Yucatán se caracteriza por la poca existencia de suelo que, por su composición, permite que el agua trasmite. Este suelo se compone en su mayor parte, de una caliza muy dura formada por solución y precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que cementa granos y fragmentos de conchas cerca de la superficie. Las calizas en la superficie se encuentran formando una coraza calcárea o reblandecida en ambos casos, resultado del intemperismo químico que las ha modificado en un grosor de varios metros (García y Graniel, 2010).

En cuanto al clima, la península de Yucatán para el sistema de Köppen, presenta solamente dos tipos de climas: el seco estepario (BS) en el noroeste y en todo el resto, clima cálido con lluvias en verano (Cw). Sin embargo, se presenta un importante gradiente de lluvia, mismo que además se denota por la transición de vegetación desde selva baja en el norte, a selva alta en el sur. Por lo tanto, es insuficiente la descripción climática de Köppen original para describir la gran variación de clima (Orellana, 2020). La pluviosidad crea diferencias entre las regiones, así al noroeste de la península, se encuentra una porción con estación seca y vegetación pobre, al avanzar hacia el centro y sureste va dando paso a la selva. En los litorales dominan los manglares, el cocotero y cuentan con ricos bancos de especies marinas como las algas (UNAM, 1998).

Los factores geográficos y físicos de la península de Yucatán, lo hacen un conjunto único independiente. Puede considerarse anexo al sureste, pues comparte



características comunes o separado de éste por las propias, en el aspecto físico (UNAM, 1998).

En México, las cuevas anquihalinas solo se encuentran en la península de Yucatán, con 2,241 cenotes registrados, de una estimación de más de 5,000. Incluido el sistema de cuevas submarinas más largo del mundo denominado Sac Actun con 347 km (Gulden, 2016). La mayoría de los cenotes del interior del estado de Yucatán son exclusivamente sistemas de agua dulce, debido a que son depósitos de agua que son abastecidos por las primeras lluvias de la temporada, excepto unos pocos bastante profundos con haloclinas por debajo de los 50 m de profundidad y los que se encuentran cerca de la costa norte de la península (Álvarez *et al.*, 2005).

En estas cuevas mexicanas se han registrado organismos pertenecientes a los phyla Porifera, Cnidaria, Gastrotricha, Tardigrada, Nematoda, Annelida, Arthropoda, Echinodermata y Chordata (Álvarez e Illife, 2008). Contienen una fauna dominada por crustáceos que se adapta a condiciones hipogénicas, como la falta de luz solar y la baja disponibilidad de recursos alimenticios (Mejía-Ortíz *et al.*, 2013). A continuación, se presenta una caracterización por cada cenote del estudio (Figura 2).

Los sitios seleccionados para este estudio fueron los cenotes Abejas (Figura 3), cenote Buenavista (Figuras 4 y 5), cenote Nohoch Nah Chich (Figuras 6 y 7), cenote Vaca Ha (Figura 8), cenote Ek-bis (Figura 9), cenote Kankirixché (Figura 10), cenote Noh Mozón (Figura 11), y el cenote X-Batún (Figura 12).



## **Localidades en Quintana Roo**

### *Cenote Abejas, Quintana Roo*

Se localiza en el pueblo de Tankah, Quintana Roo, México ( $20^{\circ} 13' 59.8''$  N,  $87^{\circ} 25' 19.8''$  W) a una distancia de 0.5 km de la línea de costa. La entrada al sistema es mediante un cenote abierto a flor de tierra.

### *Cenote Buenavista, Quintana Roo*

Se ubica en el municipio de Solidaridad, Quintana Roo, México ( $20^{\circ} 29' 14''$  N,  $87^{\circ} 16' 43''$  W) a una distancia de 2.7 km de la línea de costa. La entrada al sistema es mediante un cenote semiabierto tipo caverna.

### *Cenote Nohoch Nah Chich, Quintana Roo*

Se localiza en el municipio de Tulum, Quintana Roo, México ( $20^{\circ} 17' 49.9''$  N,  $87^{\circ} 24' 15.1''$  W) a una distancia de 3.1 km de la línea de costa. La entrada al sistema es mediante un cenote abierto a flor de tierra.

### *Cenote Vaca Ha, Quintana Roo*

Se localiza al noreste del municipio de Tulum, Quintana Roo, México ( $20^{\circ} 16' 14.5''$  N,  $87^{\circ} 28' 49.7''$  W) a una distancia de 6.7 km de la línea de costa. Vaca-Ha es un sistema en el cual hasta la fecha se desconoce si presenta conexión subterránea con otros sistemas en la zona de Tulum. La entrada al sistema es mediante un cenote abierto a flor de tierra tipo aguada con un espejo de agua semicircular (Durán, 2020).



## Localidades en Yucatán

### *Cenote Ek-bis, Yucatán*

Se ubica en la localidad de Hochtún, Yucatán, México ( $20^{\circ} 51' 23.1''$  N,  $89^{\circ} 11' 43.8''$  W) a una distancia de 54.1 km de la línea de costa. La entrada al sistema es mediante un cenote semiabierto tipo caverna.

### *Cenote Kankirixché, Yucatán*

Se localiza en el municipio de Abalá, Yucatán, México ( $20^{\circ} 38' 14.3''$  N,  $89^{\circ} 37' 58.6''$  W) a una distancia de 72.0 km de la línea de costa. La entrada al sistema es mediante un cenote semiabierto en forma de cántaro.

### *Cenote Noh Mozón, Yucatán*

Se ubica en la localidad de Pixyá ubicado en el municipio de Tecoh, Yucatán, México ( $20^{\circ} 37' 24.2''$  N,  $89^{\circ} 23' 02.8''$  W) a una distancia de 76.0 km de la línea de costa. La entrada al sistema es mediante un cenote semiabierto en forma de cántaro.

### *Cenote X-Batún, Yucatán*

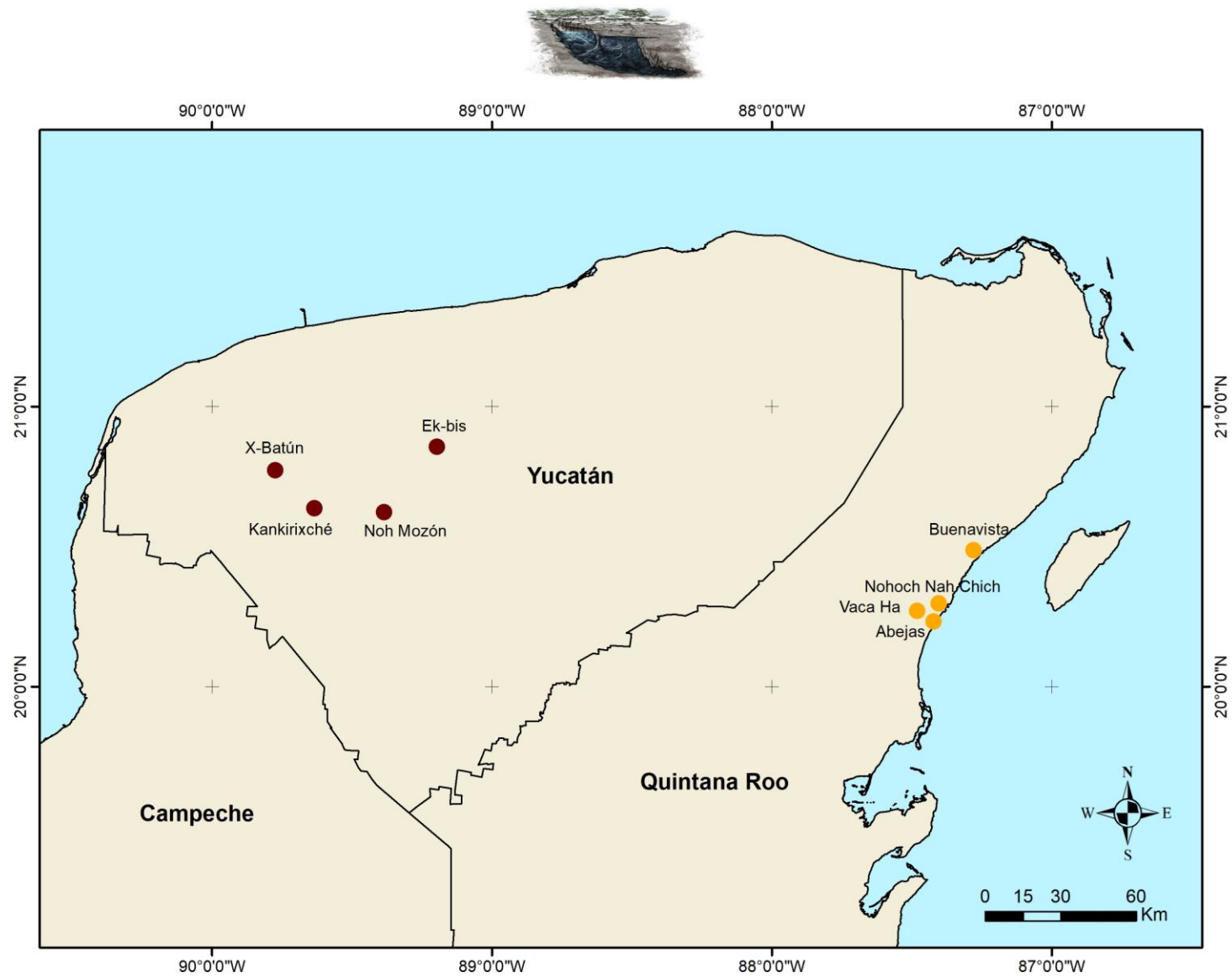
Se ubica en la localidad de Chocholá, Yucatán, México ( $20^{\circ} 40' 26.5''$  N,  $89^{\circ} 46' 22.1''$  W) a una distancia de 60.5 km de la línea de costa. La entrada al sistema es mediante un cenote abierto a flor de tierra.

En la tabla 2 se muestran los nombres de los cenotes examinados en el estado de Yucatán y Quintana Roo con sus respectivas coordenadas.



**Tabla 2.** Lista de cenotes examinados de Quinta Roo y sus coordenadas geográficas.

Nombre del cenote	Coordenadas	Entrada al sistema	Distancia de línea de costa (Km)
Quintana Roo			
Abejas	20° 13' 59.8" N 87° 25' 19.8" W	cenote abierto a flor de tierra	0.5
Buenavista	20° 29' 14" N 87° 16' 43" W	cenote semiabierto tipo caverna	2.7
Nohoch Nah Chich	20° 17' 49.9" N 87° 24' 15.1" W	cenote abierto a flor de tierra	3.1
Vaca Ha	20° 16' 14.5" N 87° 28' 49.7" W	cenote abierto a flor de tierra tipo aguada	6.7
Yucatán			
Ek-bis	20° 51' 23.1" N 89° 11' 43.8" W	cenote semiabierto tipo caverna	54.1
Kankirixché	20° 38' 14.3" N 89° 37' 58.6" W	cenote semiabierto en forma de cántaro	72
Noh Mozón	20° 37' 24.2" N 89° 23' 02.8" W	cenote semiabierto en forma de cántaro	76.0
X-Batún	20° 40' 26.5" N 89° 46' 22.1" W	cenote abierto a flor de tierra	60.5



**Figura 2.** Ubicación de los cenotes en Yucatán y Quintana Roo, en los que se realizó el estudio para evaluar el índice de prioridad de conservación (IPC) de sistemas anquihalinos en la península de Yucatán, México.





## MATERIAL Y MÉTODO

### *Trabajo de campo*

En cada uno de los cenotes (Tabla 2) que se usaron como área de estudio, se realizó una visita en los meses de septiembre al estado de Quintana Roo y noviembre al estado de Yucatán del 2021. En estas visitas se tomaron fotografías del estado natural en el que se encontraba cada cenote, así como las actividades que se realizaban y particularidades físicas y administrativas de cada uno de los espacios (Figuras 3-12). Se registraron las coordenadas con un GPS, a partir de estas coordenadas se obtuvo la distancia al mar de cada sitio, se tomó nota de la cantidad de visitantes al momento de la llegada al sitio y si se encontraban realizando alguna actividad, se tomó nota de las especies kársticas en cada sitio, se tomó nota de los cambios ambientales que se pudieran percibir en el sitio y alrededor de este (por ejemplo, el color del agua, la turbidez, el olor, si había desechos antropogénicos o industriales). Además, se tomó nota de los siguientes parámetros:

- Acceso: Tomando como referencia la forma/entrada de la alberca del cenote aledaño al sistema, el cual puede ser de diferentes formas:
  - Abierto: Es a flor de tierra o con paredes verticales. En esos sitios la entrada al sistema es muy sencilla, la contaminación que se genera aledaño al sitio fácilmente tiene acceso al sistema, se puede extraer agua del acuífero sin gran esfuerzo.



- Parcialmente abierto: Tiene paredes verticales que se estrechan en la zona superior lo cual permite solo parcialmente el paso de la luz del sol, la mayoría de ellos se encuentran bajo tierra y para llegar a ellos es necesario recorrer o descender por caminos estrechos o poco estables.
- Subterráneos o de gruta: Se encuentran en el interior de cuevas, por ello, para acceder es necesario pasar por algún tipo de abertura que puede variar el estrecho.
- Acceso restringido: Esta categoría abarcaría aquellos sitios donde las entradas sean sumamente estrechas, por las que no pueda acceder un humano promedio.
- Interacción: Los científicos de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) aseguran que todos los cuerpos de agua ubicados en la península de Yucatán están intercomunicados entre sí. Por ello, el daño que se le inflija a uno impacta en los demás, y así, en el equilibrio de los demás ecosistemas de la península (Fischer, 2022). De algunos sistemas anquihalinos se ha registrado la interacción de varios cenotes y de otros todavía se desconocen la cantidad de entradas.
- Vegetación circundante: Alrededor de estos cuerpos de agua se encuentra una gran cantidad de vegetación que día a día procuran un equilibrio en la naturaleza. Todas estas especies conforman una cadena alimenticia, donde



cada individuo es pieza fundamental para el equilibrio del ecosistema, y que si alguno llegará a encontrarse vulnerable, las consecuencias podrían ser terribles, como la extinción en cadena provocando un desequilibrio y dañando al ecosistema completo, a través de los años la vegetación de estas zonas ha sufrido consecuencias negativas al ser modificada por las construcciones aledañas, ya sea de estacionamientos, carreteras o simplemente despojo de la vegetación aledaña para poder visibilizar o tener acceso a los cenotes (Yucatandiving, 2019).

Para realizar el registro de los parámetros anteriores se usó una hoja de registro por cenote, mostrados en tabla 4. En las figuras se puede apreciar las características físicas de cada sitio, así como las modificaciones o actividades que se realizan en los sitios

**Tabla 3.** Lista de valores propuestos del índice de prioridad de conservación (IPC) basados en las condiciones naturales o prístinas de cada sitio.

<b>Índice de prioridad de conservación (IPC)</b>	<b>Valoración</b>
<b>1</b>	Sin conservación
<b>2</b>	Poco conservado
<b>3</b>	Conservado
<b>4</b>	Muy conservado



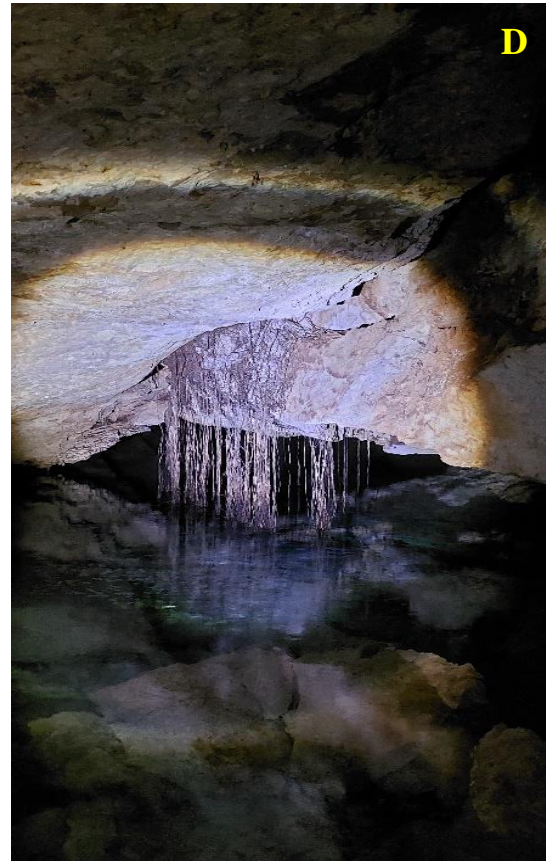
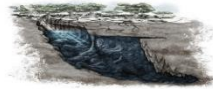
**Figura 3.** Cenote Abejas, Quintana Roo, México. A) Entrada al cenote abierto a flor de tierra, B) Alberca del cenote, C) Actividad de buceo.





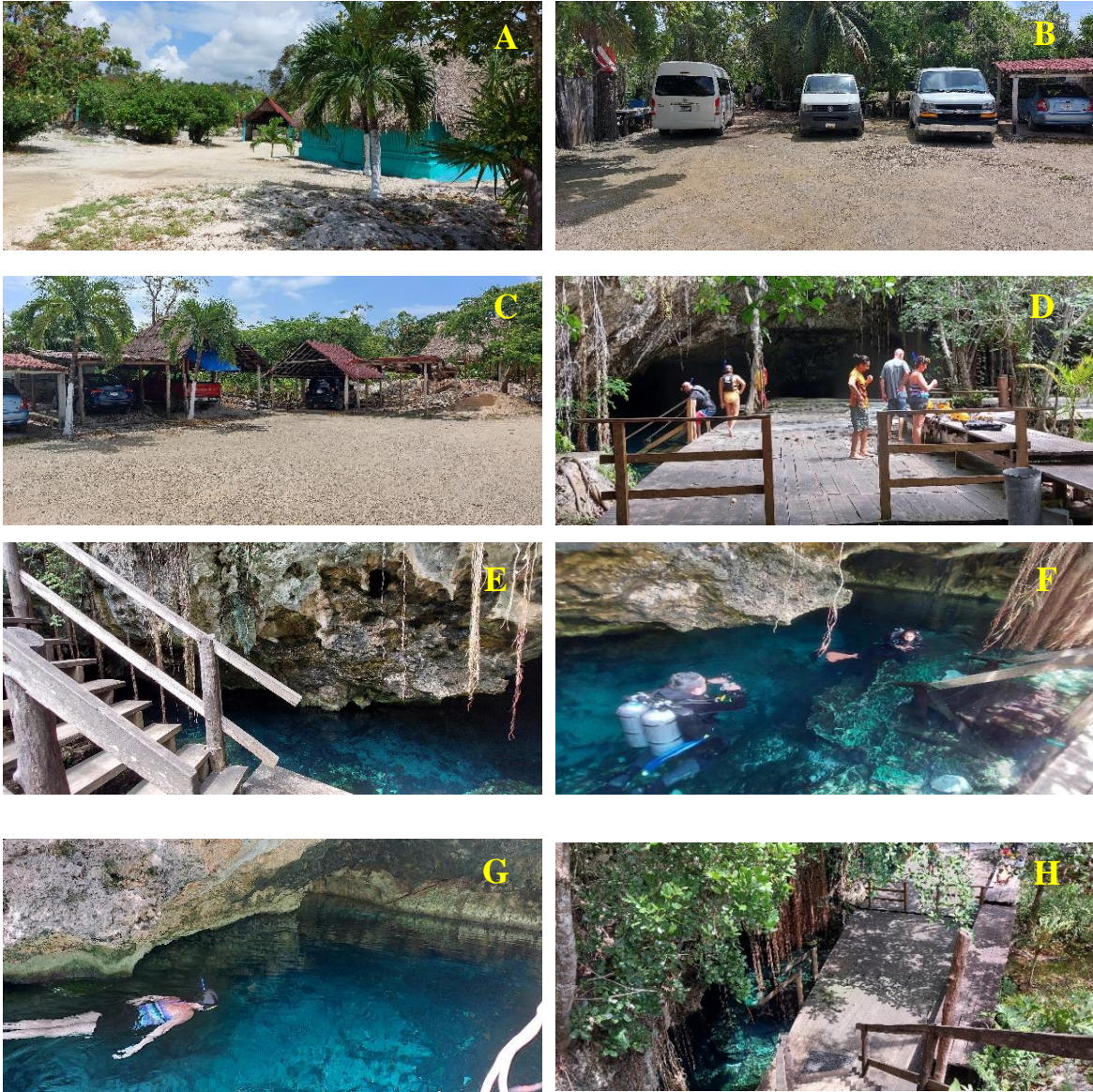
**Figura 4.** Cenote Buenavista, Quintana Roo, México. A) Camino hacia el cenote, B) Retroexcavadora localizada en el camino al sitio, C) Acumulación de material para construcción en el estacionamiento provisional, D) Construcción de camino, E) Alberca del cenote semiabierto tipo caverna, F) Organismo fósil en el techo, G) Fósil localizado en las piedras recién removidas, H) Estalactitas cortadas en el techo.





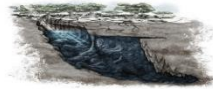
**Figura 5.** Cenote Buenavista, Quintana Roo, México. A) Rocas removidas del cenote, B) Alberca del cenote, C) Remoción de selva, D) Raíces cruzando el techo no colapsado.





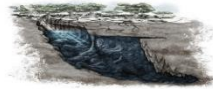
**Figura 6.** Cenote Nohoch Nah Chich, Quintana Roo, México. A) Vista de la entrada al estacionamiento, B) Vehículos localizados en el sitio, C) Construcción del estacionamiento, D) Turistas en el sitio, E) Entrada del cenote abierto a flor de tierra, F) Actividad de buceo, G) Actividad de snorkel, H) Vista desde las escaleras.



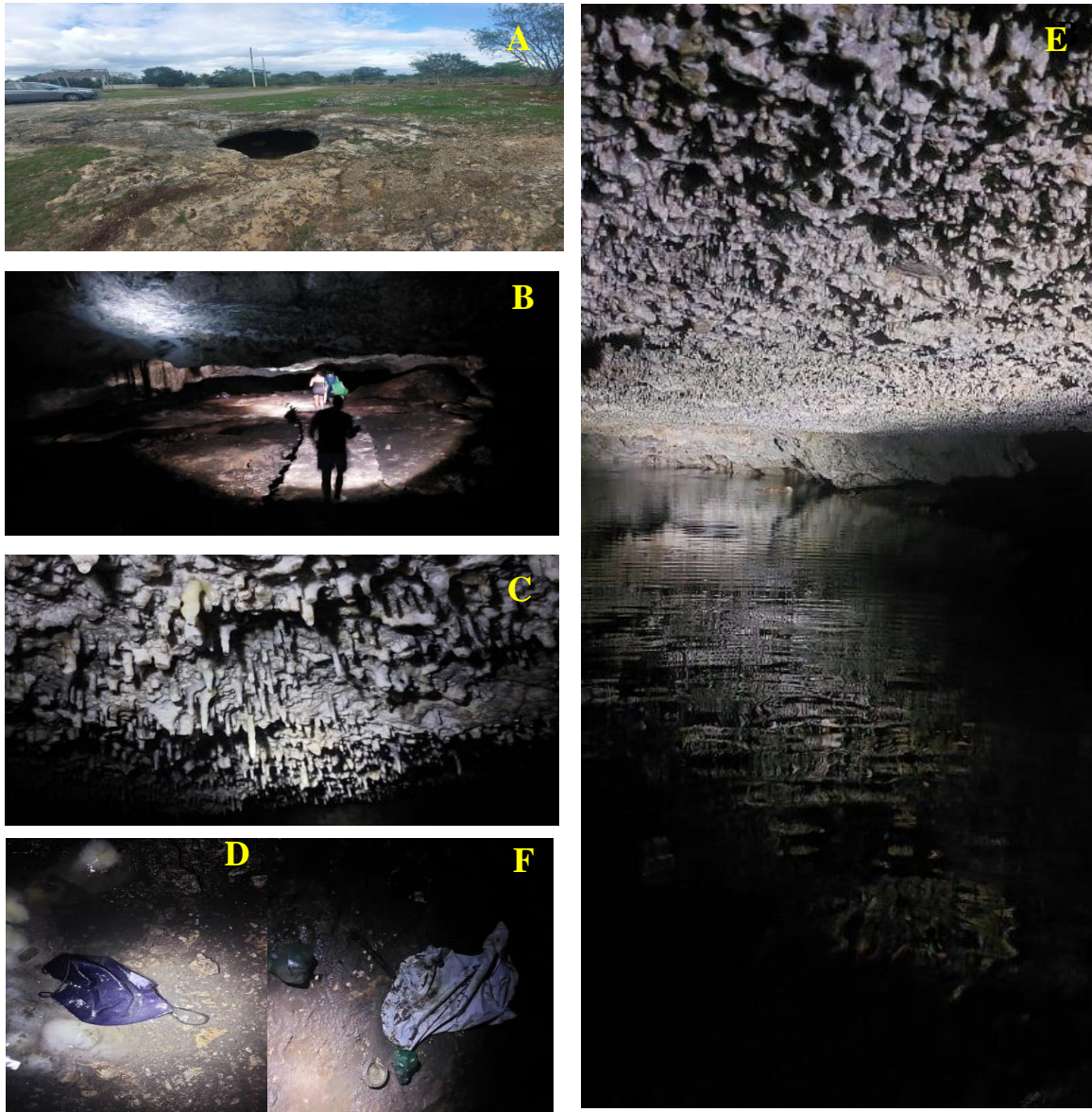


**Figura 7.** Cenote Nohoch Nah Chich, Quintana Roo, México. A) Construcciones de viviendas arriba del cenote, B) Actividad de tirolesa con turistas, C) Segunda entrada al cenote, D) Escaleras de la segunda entrada, E) Vista panorámica de la parte más próxima a la entrada.





**Figura 8.** Cenote Vaca Ha, Quintana Roo, México. A) Vehículos localizados en el sitio, B) Entrada del cenote abierto a flor de tierra tipo aguada, C) Actividad de buceo, D) Llegada de buzos, E) Vista panorámica de la entrada y áreas cercanas a la entrada.



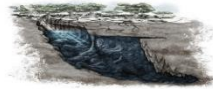
**Figura 9.** Cenote Ek-bis, Yucatán, México. A) Entrada al cenote (semiabierto tipo caverna), B) Camino hacia el cenote, C) Formación de estalactitas por todo el techo, D) Cubrebocas encontrado dentro de la cueva, E) Alberca, F) Basura encontrada alrededor de la alberca del cenote.





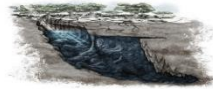
**Figura 10.** Cenote Kankirixché, Yucatán, México. A) Camino hacia el cenote, B) Ficha de acceso, C) Estalactitas que llegan a la alberca del cenote (semiabierto en forma de cántaro), D) Estacionamiento en la periferia, E) Turistas en el sitio, F) Actividad de buceo en la alberca del cenote.





**Figura 11.** Cenote Noh Mozón, Yucatán, México. A) Parada de pago, B) Alberca del cenote (semiabierto en forma de cántaro), C) Escaleras para bajar a la alberca, D) Vehículos, E) Raíces desde el derrumbe hacia la alberca del cenote, F) Turistas en el sitio, G) Derrumbe.





**Figura 12.** Cenote X-Batún, Yucatán, México. A) Ficha de acceso visitante nacional (abajo) o extranjero (arriba), B) Primera parada para el registro y pago de entrada, C) Segunda parada para la entrega de las fichas de acceso, D) Alberca del cenote (abierto a flor de tierra), E) Turistas en el sitio, F) Reglamento de estancia, G) Raíces que penetran la alberca del cenote.



### *Trabajo de gabinete*

Los datos de campo que se recolectaron en las visitas a los ocho cenotes, fueron clasificados en el laboratorio de la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR) del Instituto de Biología (IB), UNAM. Los datos de campo se vaciaron en una hoja del programa Microsoft Excel.

Riqueza de especies. Los registros de invertebrados se recuperaron de la base de datos de la CNCR para cada uno de los cenotes. Éstos se registraron en una tabla de presencia-ausencia de las especies por sistema. Una revisión bibliográfica reconoció su presencia en la NOM-059 y en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. Además, a partir de la base de datos de la CNCR se realizó una tabla con la distribución de las especies encontradas en este estudio en la península de Yucatán.

### *Análisis de datos*

La sumatoria de los valores obtenidos en cada uno de los parámetros (Tabla 3) permitió calcular el IPC (índice de prioridad de conservación). Los valores de los IPC obtenidos se tienen que agrupar en tres intervalos para poder jerarquizar en categorías de prioridad. Se propone en este trabajo que para esto se identifique el valor más alto y más bajo de IPC de los sitios que se hayan analizado y se divida el intervalo que exista entre estos valores en tres intervalos (prioridad baja, media y alta).



### *Análisis de similitud*

Para conocer el grado de similitud ente dos cenotes de acuerdo con el número de especies que comparten, se calculó el índice de Sorensen (IS) o de similitud. Este índice calcula la similitud existente entre dos localidades con base en su riqueza específica compartida. Los cálculos se desarrollaron en tres partes: 1) para los cuatro cenotes ubicados en Quintana Roo, 2) para los cuatro cenotes ubicados en Yucatán y 3) comparación entre los cenotes de Quintana Roo y Yucatán. Se empleó la siguiente formula:

$$IS = (2c / (a + b)) * 100$$

a: Número de especies totales presentes en A

b: Número de especies totales en B

c: Número de especies comunes en ambas localidades

De manera complementaria para expresar la semejanza entre comunidades se usó el coeficiente propuesto por Jaccard (índice de Jaccard). Este índice se basa en la relación de presencia- ausencia entre el número de especies comunes en dos áreas (o comunidades) y en el número total de especies (Kent y Coker, 1992). Este índice se expresa de la siguiente manera:

$$IS_J = [c / (a+b+c)]100$$

a= número de especies exclusivas de la comunidad A

b= número de especies exclusivas de la comunidad B

c= número de especies comunes para ambas comunidades.

El índice se expresa en porcentaje dado la multiplicación última que es por 100, lo que nos expresa el porcentaje de semejanza entre las comunidades comparadas.



**Tabla 4.** Valores asignados según los parámetros de conservación para calcular el IPC (índice de prioridad de conservación de sistemas anquihalinos en México).

		<b>grado de conservación (de naturalidad)</b>			
		(-)			(+)
Parámetros / Valores	1	2	3	4	
1 <b>Acceso</b>	Abierto	Parcialmente abierto	Subterráneos o de gruta	Acceso restringido	
2 <b>Interacción</b>	Aislado	Sistema de dos cenotes	Parte de un sistema menor	Parte de un sistema mayor	
3 <b>Vegetación circundante</b>	Totalmente deforestada	Desmontada	Parcialmente conservado	Original	
4 <b>Cantidad de visitantes</b>	Abundante	Mucho	Poco	Sin turismo	
5 <b>Tipo de actividad preferente</b>	Recreativo	Buceo	Investigación	Sin uso	
6 <b>Grado de perturbación</b>	Muy perturbado	Perturbado	Poco perturbado	Sin perturbación	
7 <b>Distancia al mar</b>	0-19 km	20-39 km	40-59 km	60 o más km	
8 <b>Riqueza</b>	0-2	3-5	6-8	9 o más	
9 <b>Especies endémicas</b>	0-2	3-5	6-8	9 o más	
10 <b>Especies incluidas en la NOM-059</b>	0	1-2	3-4	5 o más	
11 <b>Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN</b>	0	1	2	3 o más	
12 <b>Especies bajo ninguna protección</b>	0	1-2	3-4	5 o más	

Nota: Nivel o grado de perturbación significa que hay ganaderías o bien construcciones alrededor del cenote

Advertencia: Algunos parámetros (parámetros 9-12) asignados para el cálculo de IPC deberán ser ajustados de acuerdo a la actualización y avance de los datos de





cada sistema anquihalino para su aplicación. Esto debido a las características intrínsecas y actualización de la información.



## RESULTADOS

### I. Caracterización de los cenotes

Con base en las observaciones realizadas en cada cenote se presenta una caracterización de éstos.

#### **Quintana Roo**

##### *Cenote Abejas, Tankah, Quintana Roo*

El cenote Abejas se ubica a la entrada del club de playa “Caleta Tankah” sin señalamiento y con acceso a pie y restringido por ramas y hojas de palma a los vehículos. La construcción principal de este club está a cinco minutos dentro de la selva, frente al mar, donde se encuentra otro cenote más promocionado. Su grado de naturalidad es alto, sin mantenimiento.

El agua es cristalina, el fondo concentra materia orgánica y lodo que se resuspende fácilmente al nado. En la orilla hay algas, hojas secas y raíces.

##### *Cenote Buenavista, Solidaridad, Quintana Roo*

El cenote Buenavista es de acceso privado y con seguridad. El camino no pavimentado, está bien delimitado y cuenta con diversas vías a predios. Hay desmonte y obra en construcción evidenciada por retroexcavadora camino con grava y roca a la orilla del cenote. El sitio ha perdido la naturalidad al presentar acúmulos de grava, alteros de madera cortada, y en breve un estacionamiento delimitado y espacioso.



El cenote es subterráneo de forma elongada, expuesta la zona de penumbra en la caverna actualmente por el desmonte y retiro de rocas y la presencia de un reflector al interior de la caverna.

El agua es cristalina sin acumulación de materia orgánica en el fondo, ni en la periferia. La caverna presenta raíces que cuelgan del techo y llegan hasta la alberca del cenote. Esto quiere decir que las raíces atraviesan la parte del techo de la cueva que no se ha colapsado, para lograr alcanzar el agua que está depositada en la alberca del cenote. Las paredes carbonatadas muestran impresiones fósiles de corales o bivalvos que contribuyen al conocimiento de la historia geológica y justifican la conservación y ecoturismo.

#### *Cenote Nohoch Nah Chich, Tulum, Quintana Roo*

El cenote Nohoch Nah Chich es anular. El acceso es por vehículo, cuenta con un estacionamiento techado en lámina con cobro en la entrada. Su uso actual es turismo con guía. (Figuras 7 y 8). Alrededor del cenote existen viviendas de la familia del dueño del predio donde se ubica el cenote. Cuenta con área para sanitarios públicos y caminos de reciente apertura.

El agua es cristalina sin basura, con hojas, ramas y raíces.

#### *Cenote Vaca Ha, Tulum, Quintana Roo*

El cenote Vaca Ha es pequeño, abierto, está en un predio familiar y se accede por vehículo a través de un camino hasta un espacio con vegetación a manera de



estacionamiento inmediato al cenote. El único uso es buceo de cuevas, actividad que se cobra para tener acceso.

El agua no es cristalina, tiene tonalidad marrón resultado del aporte de sedimento de las inmediaciones y resuspensión del sedimento de fondo por los buzos. La superficie tiene un gran número de peces, que de manera frecuente boquean. En la periferia y en la superficie del cenote se acumula hojarasca, ramas y raíces.

## **Yucatán**

### *Cenote Ek-bis, Hochtún, Yucatán*

El cenote Ek-bis es semicerrado, somero y se ubica en una comunidad rural. Su acceso es a través de una apertura en el terreno pobremente delimitado y sin estacionamiento, en las inmediaciones de casas y una cancha de fútbol. El agua se encuentra a 300 m del pequeño acceso en oscuridad por un camino angosto, el techo es bajo, cubierto por estalactitas y tiene una población importante de murciélagos. El espacio no tiene uso turístico, pero se encuentra basura local.

El agua es cristalina, alberga abundantes crustáceos fácilmente colectables.

### *Cenote Kankirixché, Abalá, Yucatán*

El cenote Kankirixché es amplio con estalactitas en el techo (Figura 10C) está parcialmente colapsado y habitado por murciélagos que sobrevuelan el techo. Su acceso es por camino bien delimitado, no pavimentado, de tierra apisonada y un



amplio estacionamiento con cobro de entrada. Su uso es turismo, (Figura 10D), cuenta con estructura como barandales y escaleras de madera, señalética para el ingreso a la alberca del cenote donde hay cuerdas de guía para los buzos y de tipo recreativo para los turistas.

El agua es cristalina y no se observa materia orgánica en la alberca del cenote, pero si mucha vegetación y raíces alrededor del colapso en el techo.

#### *Cenote Noh Mozón, Pixyá, Yucatán*

El cenote Noh Mozón es elongado, profundo con un tiro de varios metros hasta el agua; cuenta con techo no colapsado, vegetación intacta y largas raíces (Figura 11E). Al cenote se accede por un camino de tierra a través de diversas rejas una en las cuales se cobra el paso y se llega al estacionamiento pobremente delimitado con vegetación (Figura 11D). A lo largo del camino hay asentamientos rurales de cabañas con celdas solares, animales de granja y material de construcción.

El uso es turístico, entre la infraestructura se cuenta con una escalera de madera de ingreso a la bóveda (Figura 11C) y una plataforma que llega al agua.

El agua es cristalina y en algunas zonas se acumula materia vegetal.

#### *Cenote X-Batún, Chocholá, Yucatán*

El cenote X-Batún y Dzonbakal es un sistema doble alargado, con abundante vegetación y raíces que cuelgan desde una pared. El acceso es a través de un



camino pavimentado a llegar al centro comunitario donde se paga la entrada de tarjetas de acceso (Figura 12A), un pequeño restaurante, tienda, sanitarios y algunos letreros de la vida en los cenotes y un reglamento con algunos lineamientos por COVID, tiempo de permanencia máximo dentro del área de los cenotes que es de 45 minutos y el número máximo de personas dentro del área del cenote. El camino que continúa es de tierra apisonada con un retén donde se solicita la tarjeta (Figura 12B y 12C) y se encuentra resguardado por personas en comunicación por radio.

El estacionamiento tiene señalética para no tirar y separar la basura, respetar los reglamentos, ayudar a la conservación, no introducir alimentos, evitar clavados. Solicita pasar por las regaderas de agua de lluvia. Un camino pavimentado de roca conecta al cenote donde se registra la hora de acceso y notifica la hora de salida.

El agua es cristalina en algunas partes, en otras hay abundante materia orgánica acumulada.

## II. Actividades de los visitantes

La tabla 5 muestra la actividad los visitantes en los ocho cenotes.

### **Quintana Roo**

El cenote con mayor número de visitantes fue Nohoch Nah Chich (39 personas en el sitio y 10 en el camino). El número de vehículos fue menor (cinco automóviles) a Vaca Ha se registraron (siete automóviles) con respecto al número de visitantes (15 personas en el sitio).



La principal actividad en Nohoch Nah Chich fue nado y buceo con snorkel y tours (recorrido alrededor del sitio sin ingresar a la alberca del cenote), seguido por Vaca Ha. En los cenotes Abejas y Buenavista no hubo personas realizando actividades.

El costo por persona para visitar los cenotes fue más elevado en el cenote Abejas, seguido de Nohoch Nah Chich y Vaca Ha.

### **Yucatán**

El cenote con mayor número de visitantes fue X-Batún (47 personas y seis en el camino). El número de vehículos fue también el mayor (14 automóviles y cuatro bicicletas).

La principal actividad Kankirixché y X-Batún fue nado con snorkel, nado, tours (recorrido alrededor del sitio sin ingresar a la alberca del cenote) y buceo, seguido por Noh Mozón. En el cenote Ek-bis no hubo personas realizando actividades.

El costo por persona para visitar los cenotes fue más elevado en el cenote Kankirixché, seguido de Noh Mozón y X-Batún.



**Tabla 5.** Actividad de los visitantes en los sitios analizados en este estudio.

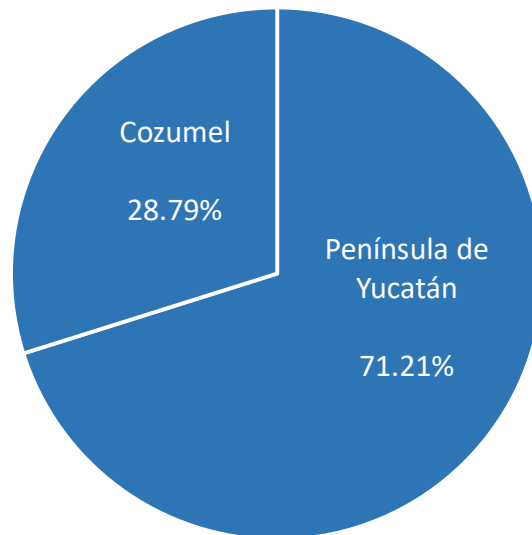
Cenote	Número de visitantes en el camino	Número de visitantes en el sitio	Snorkel	Nadado	Tours	Buceo	Números de automóviles	Costo por visitante	Costo por buceo
Quintana Roo									
Abejas	0	0	0	0	0	0	0	-	\$300
Buenavista	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Nohoch Nah Chich	10	39	8	3	28		5	\$200	\$300
Vaca Ha	0	15	0	0	5	10	7	-	\$300
Yucatán									
Ek-bis	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Kankirixché	2	41	6	24	7	4	14	\$60	\$60
Noh Mozón	2	23	5	14	0	4	5	\$50	\$50
X-Batún	6	47	2	29	14	2	14 4 bicicletas	\$100(extranjero) \$50 (nacional)	\$100(extranjero) \$50 (nacional)





### III. Taxones

En toda la península de Yucatán incluyendo la isla Cozumel se han reportado 66 especies anquihalinas (Anexo I), 47 especies (71.21%) en Yucatán, Quintana Roo y Campeche y 19 en Cozumel todas endémicas de esta región (Figura 13). De las especies reportadas para la península de Yucatán, 17 se han reportado en alguno de los 8 cenotes analizados (Tabla 6).



**Figura 13.** Distribución de las especies anquihalinas en la península de Yucatán e isla Cozumel.



**Tabla 6.** Especies reportadas en los 8 sitios analizados.

<b>Cenotes</b>	<i>Antromyia cenotensis</i>	<i>Calliasmata nohochi</i>	<i>Creaseria morleyi</i>	<i>Creaseriella anops</i>	<i>Curassanthura yucatanensis</i>	<i>Jonga serrei</i>	<i>Mayaweckelia cenoticola</i>	<i>Stygiomysis cokei</i>	<i>Stygiomysis cf. holthuisi</i>	<i>Tulumella unidens</i>	<i>Tuluweckelia cernua</i>	<i>Typhlatya dzilamensis</i>	<i>Typhlatya mitchelli</i>	<i>Typhlatya pearsei</i>	<i>Typhliasina pearsei</i>	<i>Xibalbanus tulumensis</i>	<i>Yucatalana robustispina</i>	<b>TOTALES</b>
Abejas	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	<b>5</b>
Buenavista	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	<b>7</b>
Nohoch Nah Chich	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	<b>9</b>
Vaca Ha	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	<b>10</b>
Ek Bis	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	<b>4</b>
Kankirixche	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	<b>6</b>
Nohomozon	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	<b>6</b>
X-batun	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	<b>5</b>
<b>Totales</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>52</b>
<b>Especies</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	

**Nota:** C=Crustáceo y P=Pez.

A partir de la base de datos de la CNCR se obtuvo la tabla 7, que muestra la distribución en la península de Yucatán de las especies registradas en los sitios de estudio. La distribución de cada especie se clasifica según tres patrones: Anillo de cenotes (AC) en el estado de Yucatán, que es un área en la esquina noroeste de la península que representa el borde más externo del cráter que se formó por el impacto de un meteorito al final del Cretácico; el área de cuevas del Caribe (ACC), que corresponde a una franja costera de 12 km de ancho desde Puerto Morelos hasta Tulum, Quintana Roo y una amplia distribución por toda la península sin incluir Cozumel (P).

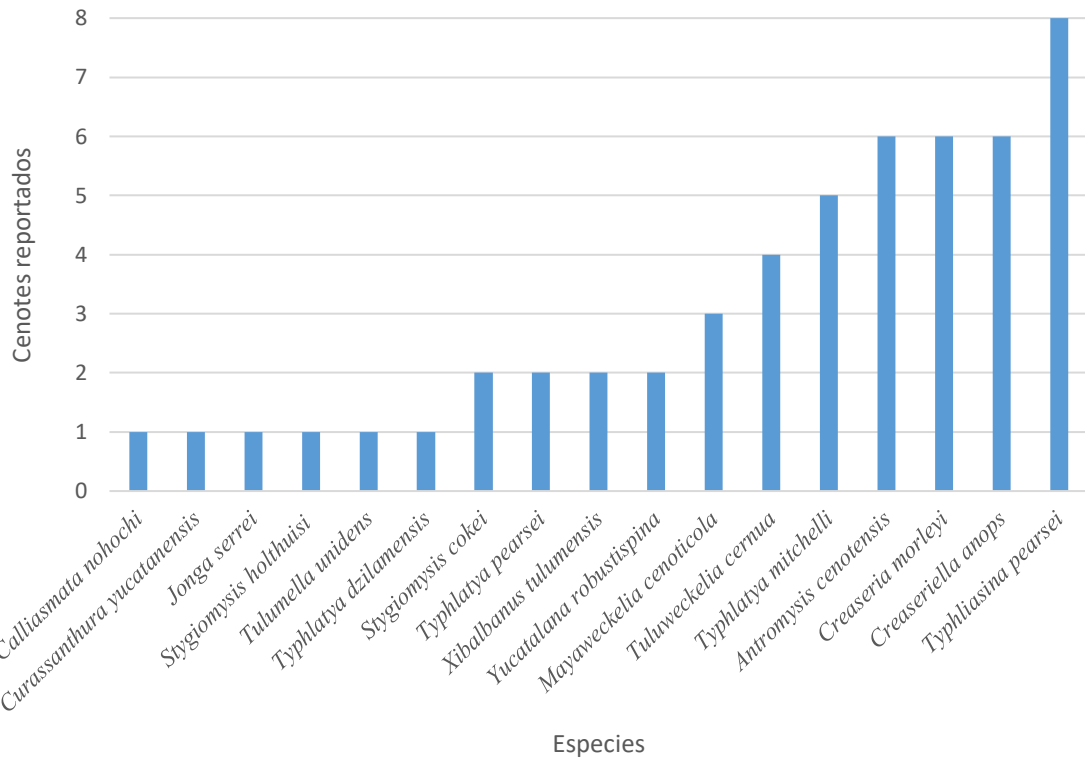


Tabla 7. Lista de distribución de las especies anquihalinas registradas en los sitios de estudio.

<b>Especies</b>	<b>Distribución</b>	<b>Masa de agua</b>	<b>Profundidad (m)</b>
<i>Antromysis cenotensis</i>	P	agua dulce	0–16
<i>Calliasmata nohochi</i>	ACC	agua marina	18
<i>Creaseria morleyi</i>	P	agua dulce	0–16
<i>Creaseriella anops</i>	P	agua dulce	1–>50
<i>Curassanthura yucatanensis</i>	P	agua dulce	10–15
<i>Jonga serrei</i>	ACC	agua dulce	0–5
<i>Mayaweckelia cenoticola</i>	P	agua dulce	5–7
<i>Stygiomysis cokei</i>	P	agua dulce	4.6–25
<i>Stygiomysis holthuisi</i>	P	agua dulce	7–15
<i>Tulumella unidens</i>	ACC	agua dulce	4.6–25
<i>Tuluweckelia cernua</i>	P	agua dulce	0–16
<i>Typhlatya dzilamensis</i>	P	agua marina	10–25
<i>Typhlatya mitchelli</i>	P	agua dulce	0–18
<i>Typhlatya pearsei</i>	P	agua dulce	1–15
<i>Typhlias pearsei</i>	P	agua dulce	1–>15
<i>Xibalbanus tulumensis</i>	ACC	agua marina	>20
<i>Yucatalana robustispina</i>	AC	agua dulce	4–50

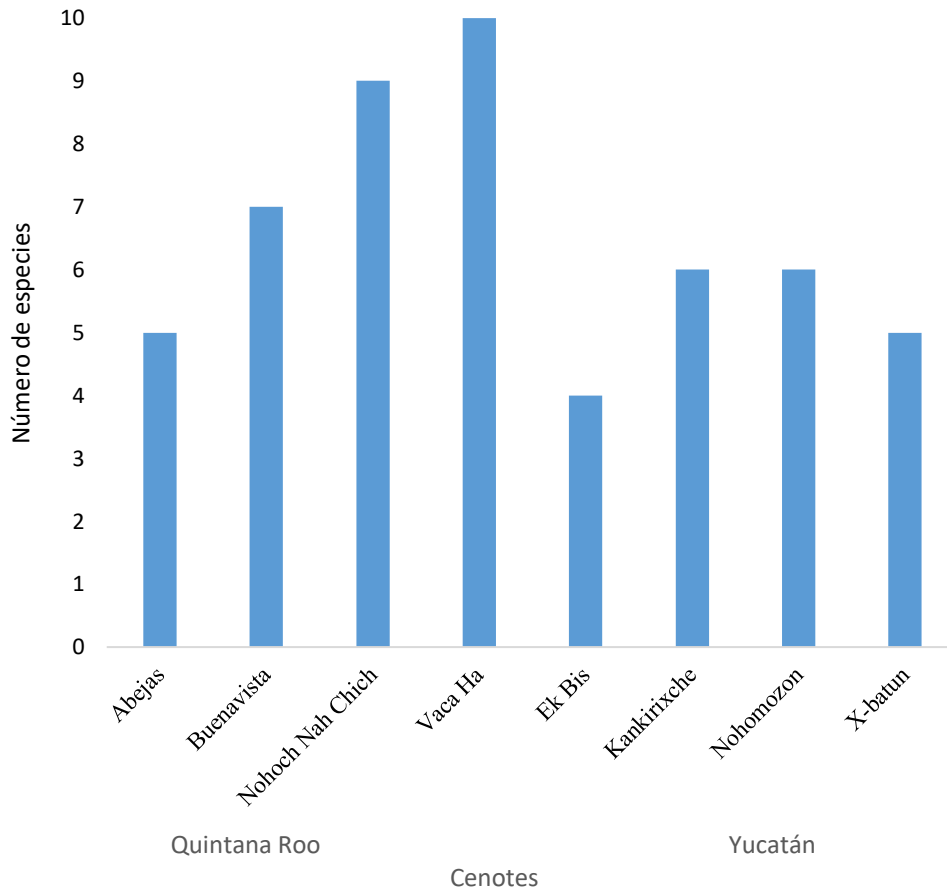
De las 47 especies registradas para la península de Yucatán, 17 ocurren en los ocho cenotes de este estudio.

La especie *Typhliasina pearsei* fue la especie que ocurre en los 8 cenotes, tres en seis cenotes (75%): *A. cenotensis*, *C. morleyi*, *C. anops* y seis especies solamente en un cenote: *C. nohochi*, *C. yucatanensis*, *M. cenoticola*, *S. holthuisi*, *T. unidens* y *T. dzilamensis* (Figura 14).



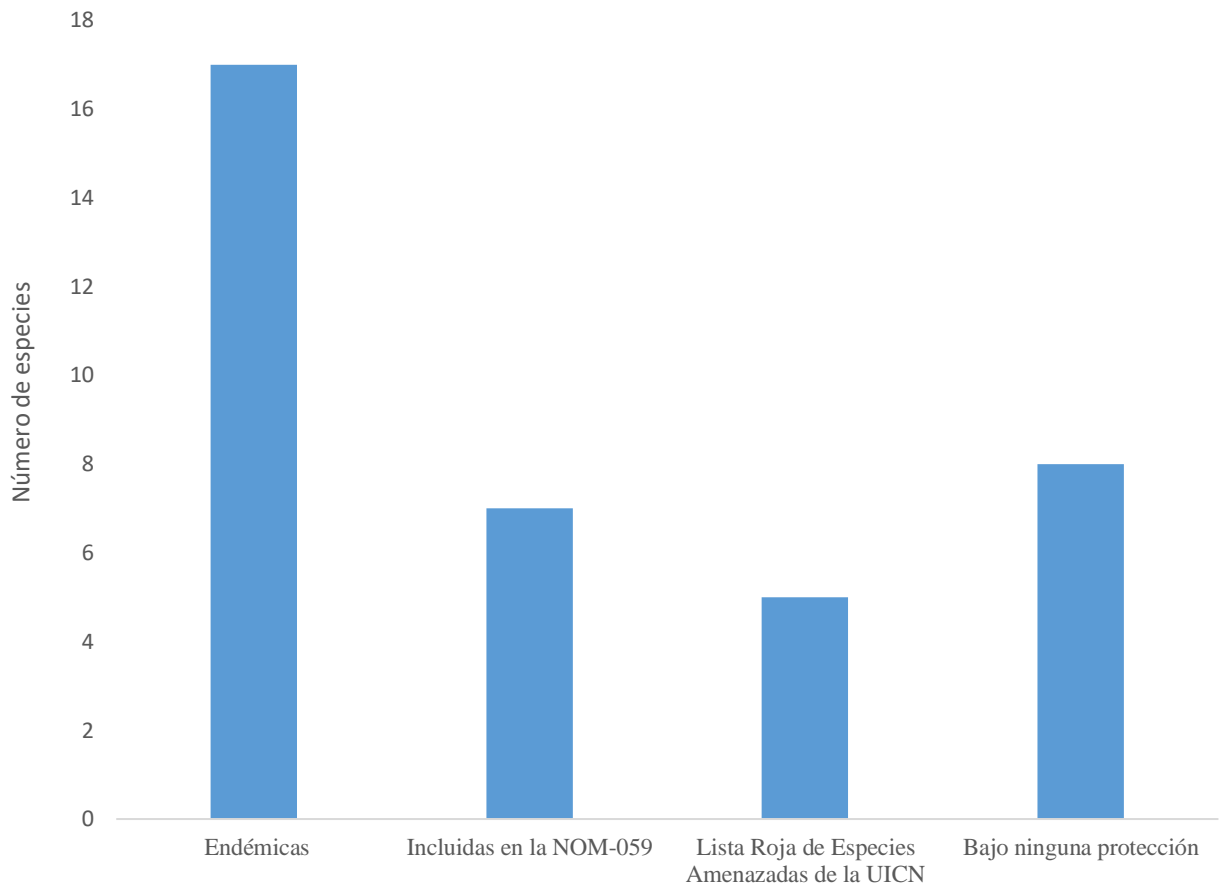
**Figura 14.** Ocurrencia de las especies en número de cenotes.

La riqueza de especies varió de cuatro a 10. Siendo la mayor frecuencia cinco a seis especies, en dos cenotes diferentes cada uno, esto se puede ver en la figura 15. Vaca Ha fue el cenote que presentó un mayor número de especies, 10 en total (58.82%) y Ek-bis fue el cenote con un menor número de especies, (23.53%). Cabe destacar que entre los ocho cenotes hay diferencias significativas en el número de especies entre subregiones (Quintana Roo y Yucatán), tenemos que para Quintana Roo el promedio de especies es de 7.75 con una desviación estándar de 2.22 y en Yucatán tenemos un promedio de 5.25 especies y 0.96 de desviación estándar.



**Figura 15.** Número de especies por cenote.

De las 17 especies contempladas en este estudio, ocho (47%) no están catalogadas bajo alguna protección especial. Siete especies (41.2%) están incluidas en la NOM-059 y cinco (29.41%) están incluidas en la lista roja de especies amenazadas de la IUCN. Cabe destacar que las 17 especies son endémicas de la península de Yucatán (Figura 16).



**Figura 16.** Número de especies bajo alguna protección.

En la figura 17 se puede observar un diagrama de Venn que muestra los taxones por cenote en el estado de Quintana Roo. Para este estado se tienen 16 especies totales. Los cenotes Abejas y Buenavista tienen un taxón que no comparten con otros cenotes, *Typlatya pearsei* y *Stygiomysis cokei* respectivamente. *Creaseria morleyi* y *Typhlias pearsei* son los taxones que se comparten con los cuatro cenotes. Vaca Ha es el cenote que comparte más taxones con otros cenotes, los cuales son *Antromysis cenotensis*, *Creaseria morleyi*,



*Mayaweckelia cenotocola*, *Typhlatya michelli*, *Typhlias pearsei*, *Tuluweckelia cernura* y *Xibalbanus tulumensis*.

En la figura 18 se puede observar un diagrama de Venn que muestra los taxones por cenote en el estado de Yucatán. El cenote Ek-bis comparte sus cuatro taxones con los otros tres cenotes analizados. *Typhliasina pearsei* es el taxón que se comparte con los cuatro cenotes. Los cenotes Noh Mozón y Kankiriché tienen cinco taxones compartidos con el resto de los cenotes analizados, *Antromysis cenotensis*, *Creaseriella anops*, *Typhlias pearsei* y *Yucatalana robustispina*, ambos cenotes los comparten. *Typhlatya michelli* es el otro taxón que comparte el cenote Noh Mozón con Ek-bis y X-Batún. *Creaseria morleyi* es el otro taxón que comparte el cenote Kankiriché con Ek-bis.

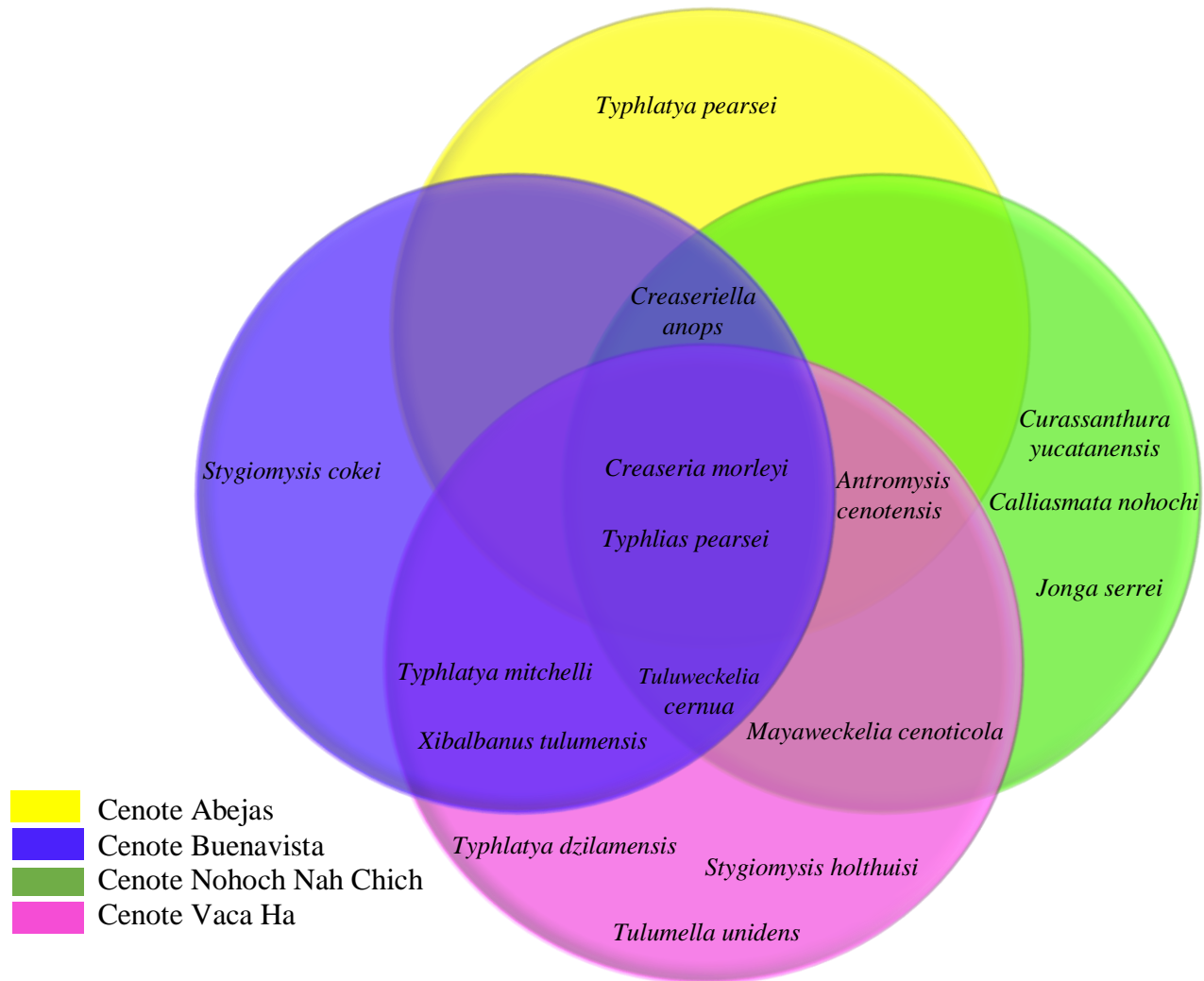
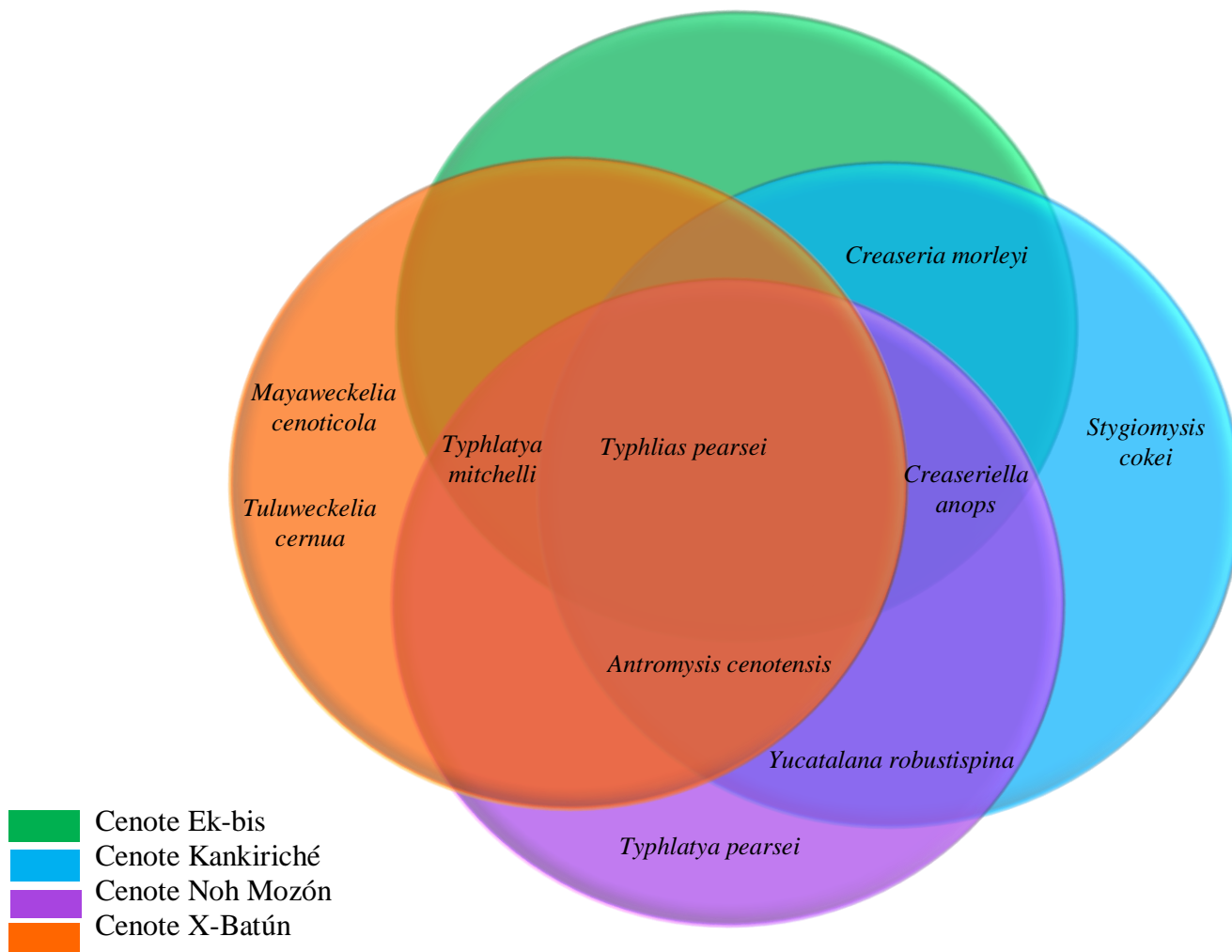
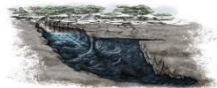


Figura 17. Diagrama de Venn de los taxones compartidos por cenote en Quintana Roo, México.





**Figura 18.** Diagrama de Venn de los taxones compartidos por cenote en Yucatán, México.



#### IV. Análisis de similitud

En la tabla 8 se encuentran los cálculos del índice de Sorensen para 1) Para los cuatro cenotes ubicados en Quintana Roo, 2) Para los cuatro cenotes ubicados en Yucatán y 3) Comparación entre los cenotes de Quintana Roo y Yucatán.

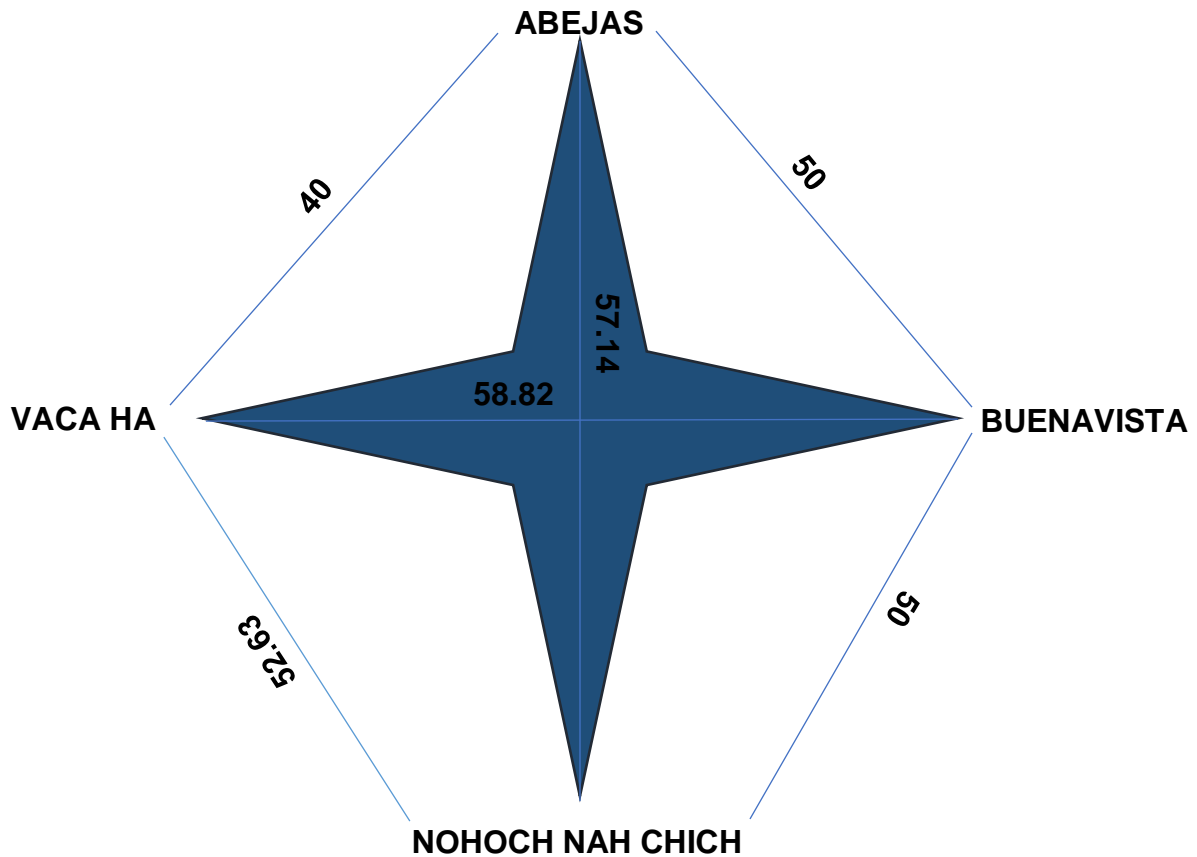
**Tabla 8.** Índice de Sorensen (%) para los sitios de estudio.

Cenotes	Índice de Sorensen (IS)
Quintana Roo	
Abejas-Buenavista	50
Abejas-Nohoch Nah Chich	57.14
Abejas-Vaca Ha	40
Buenavista-Nohoch Nah Chich	50
Buenavista-Vaca Ha	58.82
Nohoch Nah Chich-Vaca Ha	52.63
Yucatán	
Ek-bis-Kankirixché	60
Ek-bis-Noh Mozón	60
Ek-bis-X-Batún	44.44
Kankirixché-Noh Mozón	66.66
Kankirixché-X-Batún	36.36
Noh Mozón-X-Batún	54.54
Quintana Roo y Yucatán	
Abejas-Ek-bis	66.66
Abejas-Kankirixché	72.72
Abejas-Noh Mozón	72.72
Abejas-X-Batún	80
Buenavista-Ek-bis	72.72
Buenavista-Kankirixché	61.54
Buenavista-Noh Mozón	46.15
Buenavista-X-Batún	50
Nohoch Nah Chich-Ek-bis	46.15
Nohoch Nah Chich-Kankirixché	53.33
Nohoch Nah Chich-Noh Mozón	40
Nohoch Nah Chich-X-Batún	57.14
Vaca Ha-Ek-bis	42.85
Vaca Ha-Kankirixché	37.5
Vaca Ha-Noh Mozón	37.5
Vaca Ha-X-Batún	66.66

En la figura 19 se representa mediante una esquematización la interacción del índice de Sorensen entre los diversos pares de cenotes del estado de Quintana Roo empleados en este estudio. Los cenotes con mayor similitud fueron Buenavista–Vaca-Ha con IS=58.82, seguidos de Abejas–Nohoch Nah Chich con



IS=57.14. Los cenotes Abejas-Buonavista y Buonavista-Nohoch Nah Chich tienen el mismo índice con IS=50. Los cenotes con menor índice fueron Abejas-Vaca Ha con IS=40.

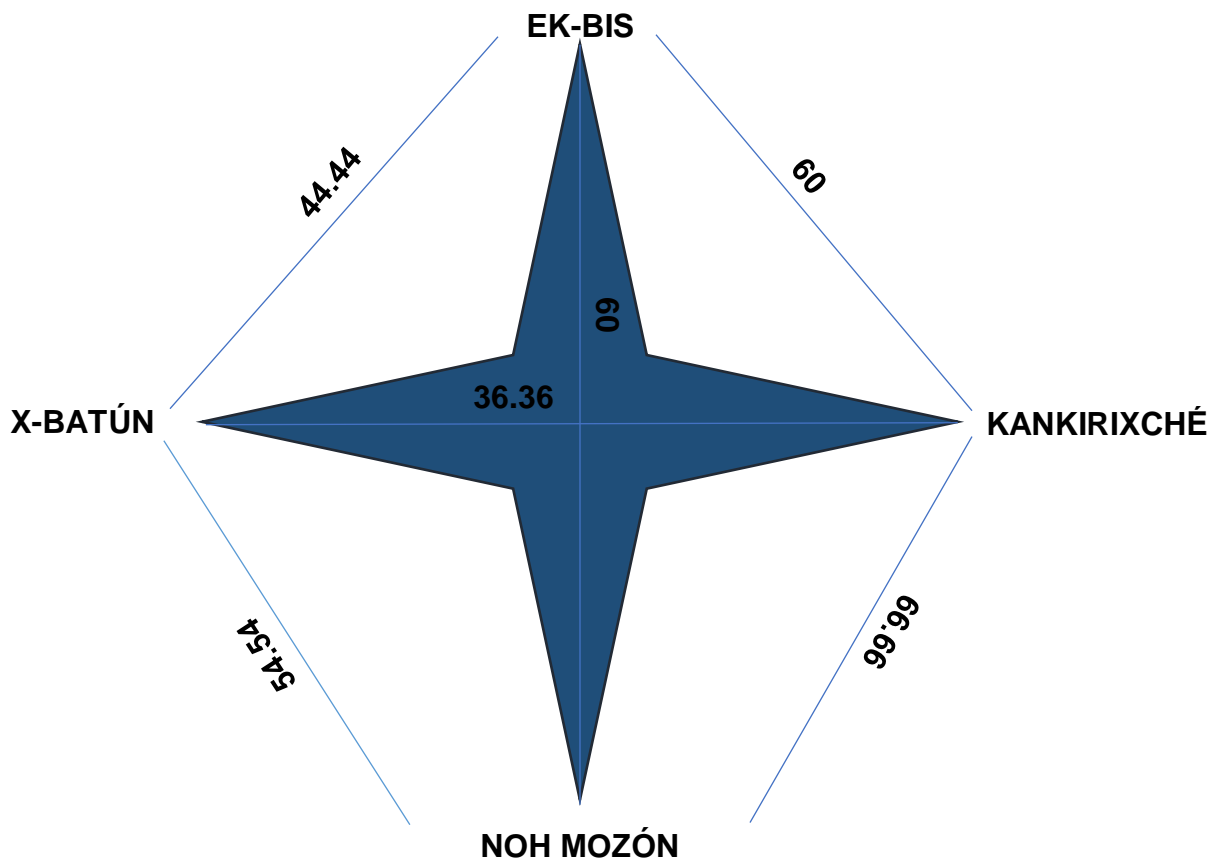


**Figura 19.** Representación de los valores del índice de Sorensen (índice de similitud) entre los distintos cenotes de Quintana Roo, México.

En la figura 20 se representa mediante un esquema la interacción del índice de Sorensen entre los diversos pares de cenotes del estado de Yucatán empleados en este estudio. Los cenotes con mayor similitud fueron Kankirixché-Noh Mozón



con  $IS=66.66$ . Los cenotes Ek-bis-Kankirixché y Ek-bis-Noh Mozón tienen el mismo índice con  $IS=60$ . Los cenotes con menor índice fueron Kankirixché–X-Batún con  $IS=36.36$ .



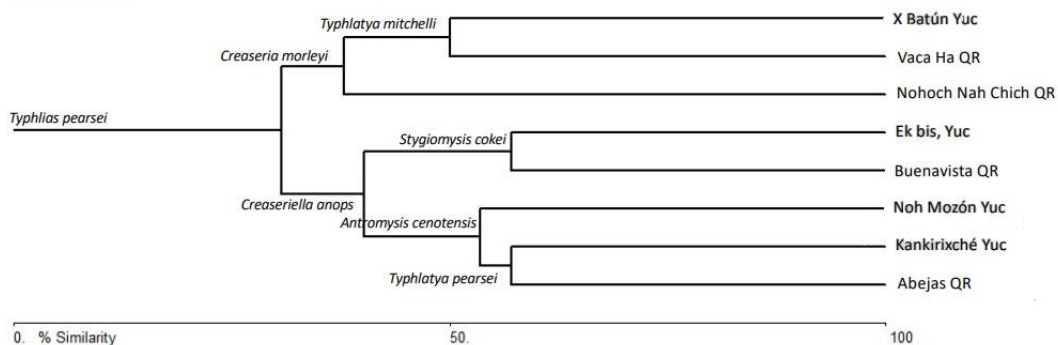
**Figura 20.** Representación de los valores del índice de Sorensen (índice de similitud) entre los distintos cenotes de Yucatán, México.

En el cálculo del índice de Sorensen entre los cenotes ubicados en Quintana Roo y Yucatán, es decir, entre sí, se encontró que el cenote Abejas es muy similar al cenote X-Batún con un  $IS=80$ , el valor más alto obtenido en todas las



comparaciones. Posteriormente los cenotes Abejas y Kankirixché, Abejas y Noh Mozón, Buenavista y Ek-bis, fueron los que obtuvieron el siguiente valor de similitud más alto con  $IS=72.72$ . Seguido de Abejas y Ek-bis con un  $IS=66.66$ , al igual que Vaca Ha Y X-Batún, Buenavista-Kankirixché con  $IS=61.54$ , Nohoch Nah Chich y X-Batún con  $IS=57.14$ , Nohoch Nah Chich-Kankirixché con  $IS=53.33$ , Buenavista y X-Batún con  $IS=50$ , Nohoch Nah Chich y Ek-bis con  $IS=46.15$ , Buenavista y Noh Mozón con  $IS=46.15$ , Nohoch Nah Chich y Noh Mozón con  $IS=40$ . Finalmente se encontró el valor más bajo de similitud  $IS=37.5$ , en los cenotes de Vaca Ha-Kankirixché y Vaca Ha con Noh Mozón.

Se obtuvo un dendrograma para complementar el análisis que se realizó del índice de Sorensen, este con base en el índice de similitud de Jaccard para evaluar las especies que se comparten los ocho sitios de estudio (Figura 21). Como se muestra en la figura los cenotes con mayor similitud en cuanto a especies fueron Ek-bis y Buenavista, así como Kankirixché y Abejas. La similitud de especies entre estos sitios varía entre 40% y 60%.



**Figura 21.** Dendrograma con base en el índice de similitud de Jaccard de los sitios de estudio



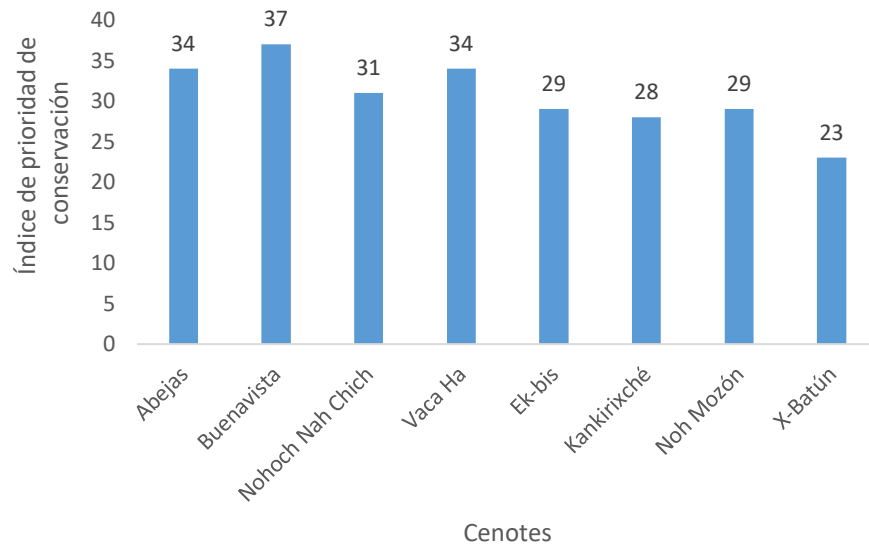
## V. Análisis del Índice de prioridad de conservación

En la tabla 9 se muestra el cálculo del IPC para los ocho cenotes analizados, mediante 12 parámetros a los que se les asignó un valor del uno al cuatro. La sumatoria del valor de cada parámetro resultó en el valor obtenido de IPC.

El cálculo del IPC para los ocho cenotes varía de 23 puntos (valor mínimo) a 37 puntos. La diferencia fue de 14 puntos en prioridad de conservación (naturalidad). Por categoría, aquellos en el intervalo de 23-27 puntos tienen una prioridad baja, en el intervalo de 28-32 puntos tienen una prioridad media y en el intervalo de 33-37 puntos la prioridad es alta

Con categoría de IPC alta están los cenotes Buenavista (37 puntos), Abejas y Vaca Ha (34 puntos). En la categoría media los cenotes Nohoch Nah Chich (31 puntos), Ek-bis y Noh Mozón (29 puntos) y Kankirixché (28 puntos) y en la categoría baja el cenote X-Batún (23 puntos), (Figura 22). Se pueden notar diferencias entre las subregiones de Quintana Roo y Yucatán, teniendo un promedio de los resultados del IPC de 34 con una desviación estándar de 2.45 para Quintana Roo y un promedio de 27.25 y 2.87 de desviación estándar para Yucatán.





**Figura 22.** Valores del índice de prioridad de conservación para los cenotes analizados de la península de Yucatán, México



**Tabla 9.** Cálculo del IPC por sistema anquihalino.

Parámetros / Valores	1	2	3	4	Abejas	Buenavista	Nohoch Nah Chich	Vaca Ha	Ek-bis	Kankirixché	Noh Mozón	X-Batún
1 Acceso	Abierto	Parcialmente abierto	Subterráneos o de gruta	Acceso restringido	1	3	2	1	3	2	1	1
2 Interacción	Aislado	Sistema de dos cenotes	Parte de un sistema menor	Parte de un sistema mayor Original	4	3	4	1	1	1	1	1
3 Vegetación circundante	Totalmente deforestada	Desmontada	Parcialmente conservado		4	4	2	3	1	4	4	2
4 Cantidad de visitantes	abundante	mucho	poco	sin turismo	4	4	1	4	4	1	1	1
5 Tipo de actividad preferente	Recreativo	Buceo	Investigación	Sin uso	4	2	2	2	4	1	1	1
6 Grado de perturbación	Muy perturbado	Perturbado	Poco perturbado	Sin perturbación	3	4	1	2	1	1	1	1
7 Distancia al mar	0-19 km	20-39 km	40-59 km	60 o más km	1	1	1	1	3	4	4	4
8 Riqueza	0-2	3-5	6-8	9 o más	2	3	4	4	2	3	3	2
9 Especies endémicas	0-2	3-5	6-8	9 o más	2	3	4	4	2	3	3	2
10 Especies incluidas en la NOM-059	0	1-2	3-4	5 o más	4	4	3	4	3	3	4	3
11 Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN	0	1	2	3 o más	4	4	4	4	4	3	4	3
12 Especies bajo ninguna protección	0	1-2	3-4	5 o más	1	2	3	4	1	2	2	2
<b>IPC</b>					<b>34</b>	<b>37</b>	<b>31</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>23</b>
<b>Grado de prioridad</b>					<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Media</b>	<b>Media</b>	<b>Baja</b>



## DISCUSIÓN

### I. Uso local de los cenotes y beneficio social

En la península de Yucatán, los pobladores rurales han subsistido practicando diversas actividades económicas, muchas de ellas relacionadas con los cenotes. Algunos de los usos que los pobladores les han dado a estos lugares, son el aprovechamiento para la agricultura, la ganadería, la caza, la pesca, aprovechamiento de productos maderables y no maderables, la recreación y el turismo (Figura 23). Así como el abastecimiento de agua a todas las comunidades cercanas para diversas actividades domésticas como lavar, entre otras (Enseñat-Soberanis *et al.*, 2020).

El turismo dentro de los cenotes en los últimos años se ha ido incrementando, ya que muchos campesinos de la zona han visto esta actividad como un complemento significativo a sus precarios ingresos (Blanco *et al.*, 2019). Por ejemplo, hay cenotes que dejan una derrama económica enorme porque cobran hasta \$300.00 MN la entrada por visitante como fue en el cenote Nohoch Nah Chich, y no solo eso, sino que en muchos cenotes se han realizado investigaciones exitosas que lo que hacen es darles publicidad a ciertos cenotes, en los cuales, los pobladores aprovechan para ofrecer diversas actividades con costos específicos, como bucear o practicar snorkel (Enseñat-Soberanis *et al.*, 2020). Incluso la zona se ha vuelto un punto de interés para científicos y aficionados que les interesa



conocer las rutas que alberga cada sistema y sobretodo las especies o cualidades únicas que pueden encontrar en estos sitios.

Por esto muchos pobladores de la península de Yucatán han preferido dejar las actividades con las que subsistían, como la agricultura y ganadería que solo persistían algunos años debido a que la capa fértil del suelo desmontado es muy delgada y por lo tanto la producción suele ser efímera y enfocarse a actividades turísticas. Sin embargo, esto ha contribuido al deterioro y contaminación de los cenotes, puesto que hay visiones encontradas, lo ideal sería llegar y apreciar los sitios lo más natural posible, pero los ejidatarios quieren y requieren que vayan más visitantes y muchos de ellos desmontan para que los autobuses lleguen hasta la periferia del cenote, eutrofizando el cenote con suelo erosionado por el paso de vehículos y de personas que ingresan al agua. Este dilema es un problema evidente que se ha visto a lo largo de este estudio y por lo tanto es necesario visualizar el estado actual de cada sitio, para visibilizar las problemáticas biológicas de la zona. En los últimos años también se ha descubierto que todos los cenotes contienen aguas duras (alta cantidad de sales) a diferentes escalas, que podría afectar la salud de los visitantes y pobladores que hacen uso de estos sistemas (Enseñat-Soberanis *et al.*, 2020).

Dentro de los impactos ecológicos que el exceso de visitantes está causando en áreas naturales, se incluyen la compactación del suelo, pérdida de cobertura vegetal, contaminación del aire, del agua y auditiva (Manning y Anderson, 2012), así como estrés y pérdida de la fauna silvestre (Newsome *et al.*, 2005).



Del total de cenotes registrados en el estado de Yucatán, el 56% se encuentran en ejidos. Estos ejidos son tierras de uso común, localizados en su mayoría en zonas rurales (SEDUMA, 2018). Por lo tanto, gran parte de los cenotes son administrados por cooperativas ecoturísticas de campesinos mayas, que necesitan mantener o incrementar el número de visitantes que llegan a sus cenotes porque representa una fuente importante de ingresos económicos (Jouault, 2018).

Por otro lado, la administración de cada cenote debe cumplir con la normatividad medioambiental vigente, que les obliga a contar con un estudio de capacidad de carga, en favor de su conservación (SEDUMA, 2014). Aunque en el Artículo 4º, fracción VIII del Reglamento de la Ley de Protección al medio ambiente del estado de Yucatán en materia de cenotes, cuevas y grutas, se establece que es competencia del poder ejecutivo del Gobierno del Estado de Yucatán establecer la metodología para la elaboración del estudio de capacidad de carga turística (SEDUMA, 2014).

La mayoría de los cenotes aún son usados para fines agrícola-ganaderos, pero de 2014 a 2018, 32 nuevos cenotes fueron registrados con algún tipo de uso turístico-recreativo (SEFOTUR, 2017, SEDUMA, 2018). Este rápido cambio en el uso de los cenotes está vinculado al exponencial crecimiento económico y urbano de ciudades como Mérida y de regiones turísticas como Cancún-Rivera Maya (Jouault y Jiménez, 2015). Pero también está sumamente relacionado con la conservación de estos lugares, ya que este crecimiento no es homogéneo y existen cenotes que están ganando rápidamente visitantes. Mientras que otros cenotes



están perdiendo visitantes y por lo tanto la atención en temas como contaminación o mal manejo (García de Fuentes *et al.*, 2015).

Los lugares mejor conservados son aquellos considerados como vírgenes, es decir, los que no tienen manejo o impacto antropogénico o que se han cerrado al acceso. Por el contrario, para muchos autores estos lugares turísticos contienen una mejor conservación, ya que argumentan que no hay conservación sin la gente y que, solo incorporando indicadores sociales en el manejo de los sitios, se puede atacar de manera efectiva y directa los impactos en la naturaleza, ya que gracias a la gente se establecen normas y límites (Enseñat-Soberanis *et al.*, 2020).

El impacto ecológico que causan los turistas en los cenotes es daño al medio ambiente, para lo cual es indispensable un límite en el número máximo de personas que se encuentran al mismo tiempo en un cenote. Para esto es indispensable establecer estándares adecuados de la entrada de visitantes a cada cenote. Pero esto entra en conflicto desde el cómo definirlo hasta cómo saber que el número de visitantes es el adecuado. Pero sin duda, la capacidad de carga del sistema ayuda a definir el cambio o el daño en el ambiente, como la compactación del suelo, la cantidad de basura generada por los visitantes, cantidad de repelente o de bloqueador solar/bronceador, así como la cantidad de coliformes (Enseñat-Soberanis *et al.*, 2020).

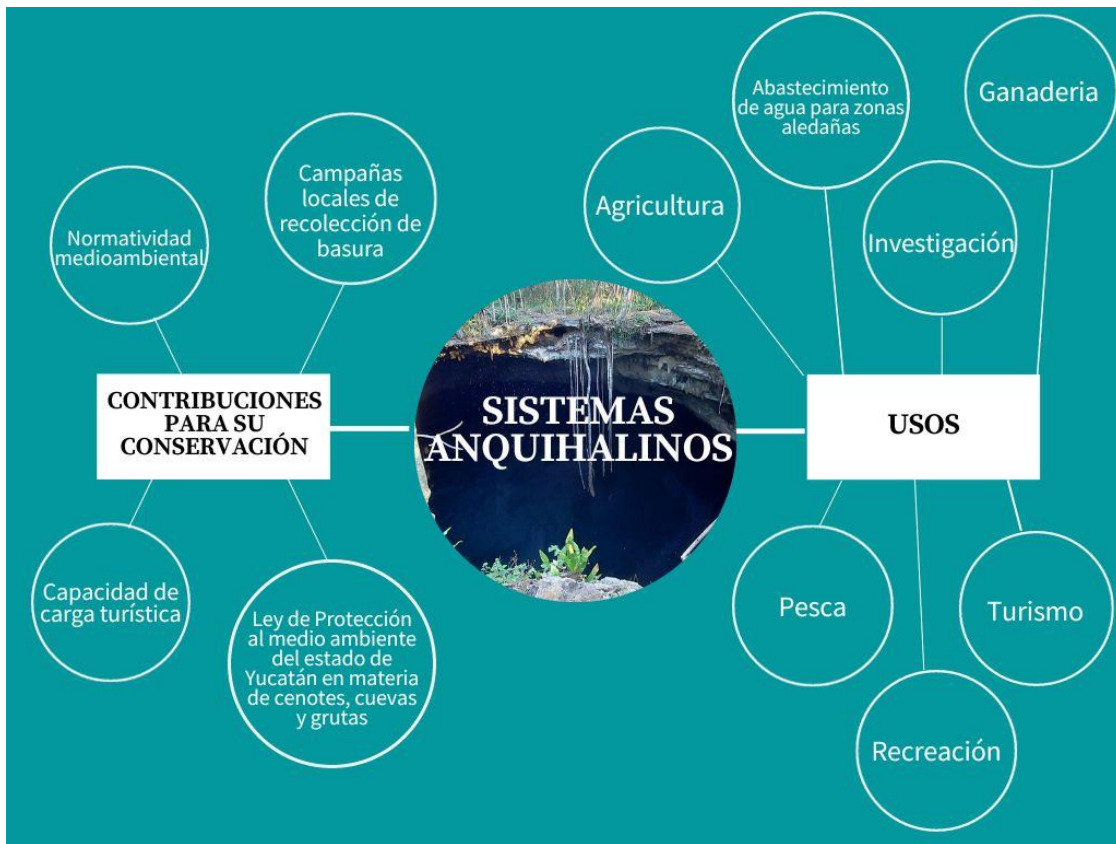
Por otro lado, Álvarez *et al.* (2000) plantearon que los sistemas anquihalinos deberían considerarse dentro de los ambientes en riesgo, dado el gran crecimiento de asentamientos humanos, la expansión municipal e industrial y el desarrollo





económico sustancial en la región vinculada al turismo. Un ejemplo que evidencia la necesidad de considerar a los cenotes ambientes en riesgo, son las observaciones que se han realizado en este estudio a cenotes como Buenavista, donde se visualizó retroexcavadoras en el camino al cenote, cúmulos de grava, montones de madera cortada, incluso un área creada recientemente aún en construcción, de lo que será un estacionamiento cerca del techo del cenote.

Los cenotes comparten rasgos únicos que permiten el desarrollo y sustento de la biodiversidad y de los asentamientos humanos circundantes (Blanco *et al.*, 2019). Un reto importante para las cooperativas y otras organizaciones de la economía social, en cuanto a poner límites al uso del recurso natural sin afectar sus ingresos, es encontrar el balance entre tarifas bajas y demanda alta o tarifas altas y demanda baja. El primero ejerce más presión sobre el recurso, pero favorece el acceso a pobladores locales. El segundo ayuda a conservar el recurso, favorece la visita de ecoturistas nacionales y extranjeros, pero desmotiva el acceso a locales por sus tarifas altas. Como hemos mencionado se debería poner por delante el bienestar ambiental que el económico, ya que para estas comunidades va de la mano puesto que, si en algún momento el deterioro de los cenotes turísticos se daña rápidamente y llega a un nivel desbordado, ambos pierden. El restaurar un ambiente como estos sería complicado y costoso por ende, la gente perdería todo el beneficio económico que obtienen de estos sistemas (Enseñat-Soberanis *et al.*, 2020)



**Figura 23.** Mapa conceptual de las contribuciones y los usos hacia la conservación de los sistemas anquihalinos en la península de Yucatán.

## II. Actividad de los turistas

Los costos de las entradas a los cenotes están entre 200 y 300 pesos. Siempre siendo más cara la entrada por bucear. La entrada se puede considerar cara para los mexicanos, ya que según los datos del INEGI (2021), en 2018 el promedio del ingreso trimestral por hogar fue de \$53,418.00 y este ha disminuido, ya que en 2020 el promedio observado fue de \$50,309.00, lo que representa una disminución de 5.8%. Las cifras podrían parecer elevadas, pero es importante recalcar que están calculadas para tres meses y que en promedio hay 3.5



integrantes por hogar, los cuales tienen diversos gastos básicos fuera de la recreación.

En este estudio se considera que no existe un porcentaje de las entradas a los cenotes destinado a la conservación de los mismos, ya que todas las personas encargadas de cobrar la entrada a los cenotes, no se mantienen atentas a cómo se comportan los turistas en estos sitios. Incluso ellos mismos invierten dinero en modificar la selva para atraer turistas. Como en el caso del cenote Buenavista, sin darse cuenta del daño que hacen esas modificaciones al hábitat original.

### III. Taxones

La distancia de un cenote con respecto a la costa, es un factor determinante en la composición de especies de estos sitios. Sánchez *et al.* (2002) encontraron que el mayor porcentaje de especies (95%) fueron de agua dulce, tal y como sucedió en los cenotes analizados. En este estudio se pudo observar que el cenote Buenavista es el segundo cenote más cerca de la playa a comparación del resto, se localiza a 2.74 km y fue el cenote con la mayor cantidad de especies.

Es importante contribuir para que los sistemas anquihalinos se consideren ambientes en riesgo, ya que la península de Yucatán es un área con una alta biodiversidad asociada a la complejidad arquitectónica que el karst ofrece en cantidad. También es un área importante de endemismo a nivel mundial. La mayor parte de la fauna de crustáceos está en riesgo. Esto se puede ver en este estudio, ya que el 47% de especies no están incluidas bajo alguna protección especial y 42% de las especies están incluidas en la NOM-059. Actualmente, las áreas de mayor



preocupación, debido a la alta presión turística, son el Corredor Tulum-Puerto Morelos (Mercado-Salas *et al.*, 2013).

Es una situación de preocupación el bajo porcentaje de especies anquihalinas de la península de Yucatán que están incluidas bajo alguna protección especial. Todas las especies anquihalinas del mundo deberían estar bajo un estricto cuidado de protección, por ser exclusivas de estos ambientes, lo cual quiere decir, que la mayoría de las especies no las encontramos en otro ecosistema (Iliffe, 2018).

En la península de Yucatán se ha reportado un total de 66 especies anquihalinas. El 70% de estas especies ha sido reportado para la península de Yucatán y el 30% restante para la isla de Cozumel. A pesar de la importante aportación de la fauna anquihalina de la isla de Cozumel, no llega a ser tan diversa como en la península de Yucatán posiblemente por dos razones: 1) La península de Yucatán cuenta con uno de los sistemas anquihalinos más extensos de todo el mundo. La extensión de sistemas anquihalinos en la península de Yucatán es mucho mayor, comparada con la isla Cozumel y por lo tanto no hay espacio suficiente para que albergue una mayor cantidad de especies. 2) La península de Yucatán ha sido muestreada y monitoreada un número mayor de veces y por un número mayor de exploradores en comparación con la isla Cozumel. Es altamente probable que haya un número superior de 20 especies que no hayan sido reportadas para la isla Cozumel hasta el momento. Por lo que se sugiere la importancia de seguir explorando y monitoreando estos sistemas con un mayor esfuerzo del que se ha hecho hasta la fecha.



La península de Yucatán es en términos generales una condición atípica, ya que dichas condiciones no existen en otro lado del mundo. La gran cantidad de galerías se distinguen porque todas están conectadas de alguna forma. En el caso del sistema Sac Actun, al cual pertenecen los cenotes Abejas y Nohoch Nah Chich, es un sistema de 370 km de largo y puede alcanzar una profundidad de 120 m en su zona más profunda. Por otra parte, la península de Yucatán cuenta con otro sistema llamada Ox Bel Ha, el cual contiene 320 km de largo y 57 m de profundidad. Ambos sistemas Sac Actun y Ox Bel Ha forman la banda más extensa y reciente de la península de Yucatán (formada en el Pleistoceno). Ahora bien, cuando ambos sistemas se junten, que eventualmente se van a juntar, conformarán la cueva más grande del mundo (QRSS, 2000).

De acuerdo con los resultados el mayor número de especies reportadas fueron crustáceos. Esto concuerda con los resultados obtenidos en estudios similares de sistemas anquihalinos en todo el mundo. Esto se debe a que el grupo de los crustáceos es un grupo ampliamente adaptado a habitar los sistemas anquihalinos en comparación con cualquier otro grupo de invertebrado o vertebrado. Dadas las condiciones extremas de estos ambientes, los organismos requieren adaptaciones morfológicas y fisiológicas y por tanto es posible que el grupo de los crustáceos tenga más tiempo de adaptación a estos ambientes que otros (Álvarez y Iliffe, 2008).



#### IV. Análisis de similitud

Los cálculos obtenidos del Índice de Sorensen solo para Yucatán implicaron una variación mayor entre los resultados obtenidos que van desde los 36.36% como valor mínimo hasta 66.66% como valor máximo. Esta amplitud entre la variación de las similitudes podría deberse a dos factores importantes. 1) Los cenotes analizados de Yucatán están más alejados de la costa y 2) Los cenotes están más separados entre sí. Por lo cual la amplitud de variación en la similitud es más grande en comparación con los cenotes de Quintana Roo.

De acuerdo al análisis del cálculo de índice de Sorensen en el que se compararon entre si los cenotes de Quintana Roo y Yucatán, encontramos que el valor más alto de similitud entre los cenotes analizados en este estudio fue entre el cenote Abejas y el cenote X-Batún con un  $IS=80$ , esto es importante destacar ya que el cenote Abejas es un cenote con prioridad alta de conservación en base al IPC propuesto y el cenote X-Batún es el cenote con menor valor de IPC (prioridad baja), lo que muestra el contraste con cenotes similares en cuanto a taxones pero con condiciones diferentes que han deteriorado los espacios. Estos contrastes se ven también entre los cenotes Abejas-Kankiriché, Abejas-Nohoch Nah Chich, Buenavista-Ek-bis, que fueron quienes obtuvieron el siguiente valor más alto de similitud  $IS=72.72$ , pero que se da entre cenotes con prioridad alta y cenotes con prioridad baja o media.

#### V. Análisis del índice de prioridad de conservación





De acuerdo a los resultados obtenidos en el cálculo del IPC, los valores arrojados por el índice van desde los 23 puntos hasta 37 puntos. Existen 14 puntos entre el valor más bajo y el valor más alto de IPC. El cenote X-Batún fue el cenote con un valor más bajo de IPC (23 puntos). Esto concuerda favorablemente con las observaciones realizadas en campo, ya que el acceso al cenote, la interacción, la cantidad de turistas, el tipo de actividad que se realiza y el grado de perturbación encontrados en el sitio fue de los valores más bajos. Dentro de las observaciones en campo destacan el tiempo limitado de estancia en el cenote, las restricciones recientes de acceso a alimentos, así como la necesidad de tomar una ducha antes de entrar al cenote con la finalidad de quitar el protector solar o cualquier otro producto que pueda seguir perturbando el lugar, que en su agua denota la gran cantidad de materia orgánica.

Por otro lado, el cenote con mayor IPC fue Buenavista (37 puntos) este cenote obtuvo los valores de los parámetros más altos, tanto en vegetación alrededor del cenote como en la cantidad de turistas, el grado de la perturbación y las especies incluidas tanto en la NOM-059 como en la lista roja de la IUCN.

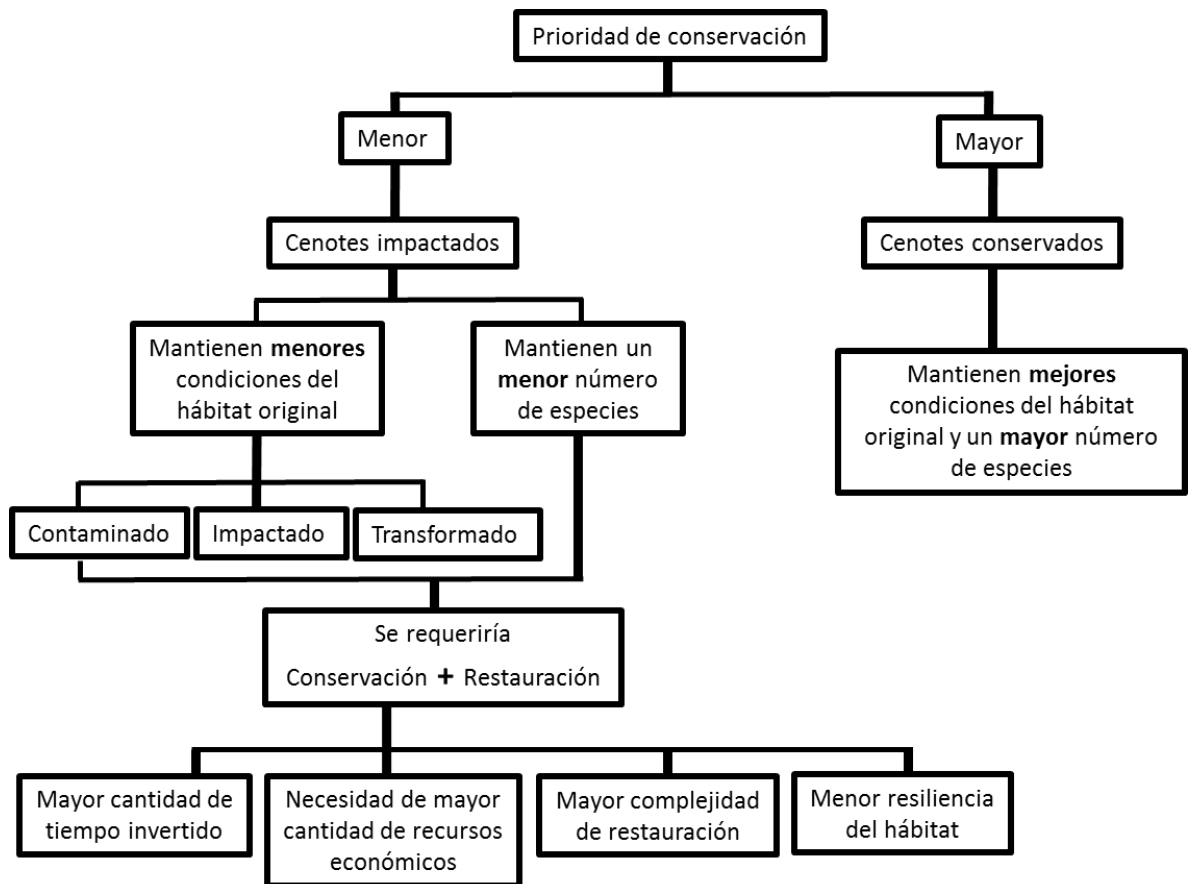
Los cenotes Vaca Ha y Abejas obtuvieron la misma puntuación de IPC (34 puntos), realísticamente ambos cenotes son parecidos entre sí, no es de extrañar entonces que se haya obtenido el mismo valor.

Entre los valores obtenidos del cálculo de IPC para los ocho cenotes estudiados hay diferencias, pero esas diferencias no son tan marcadas. El índice propuesto está basado en identificar los cenotes con alto valor biológico y alta



diversidad. Es decir, se distinguen aquellos cenotes que bajo un esquema apropiado de conservación pueden mantener el mayor número de especies posibles, así como las condiciones originales del hábitat. Cabe aclarar que, bajo esta aproximación, los cenotes más impactados obtienen una menor puntuación debido a que la relación costo-beneficio es mayor.

Desde luego cada sitio o cenote tiene que ser conservado. Sin embargo, se propone que se conserve con mayor prioridad aquellos sitios que aún no han sido impactados, porque son los que mantienen condiciones ambientales originales y un mayor número de especies. Por lo tanto, nuestro índice de prioridad de conservación, da una mayor puntuación a estos sitios. Aquellos sitios que tienen menor conservación no solo tendrán el hábitat original contaminado, impactado y transformado, sino que la consecuencia del mismo estado de su hábitat, es por lo general, una reducción en el número de especies. Estos sitios no solo necesitan implementar políticas que permitan su conservación, sino de manera adicional, se requiere de buenos programas de restauración que permitan la recuperación de la capacidad del ecosistema para mantener funciones y procesos clave frente a las presiones de perturbación (Folke *et al.*, 2010). En resumen, sería más complejo y costoso restaurar sitios perturbados que aquellos sitios que permanecen con un buen nivel de conservación (Figura. 24).



**Figura 24.** Mapa mental de la prioridad de conservación de cenotes impactados versus cenotes conservados.

Aparentemente los cuatro cenotes distribuidos en la Riviera Maya, Quintana Roo podrían tener un mayor nivel de impacto, precisamente por estar localizados en una zona de creciente demanda turística. Sin embargo, resulta ser que los mayores valores obtenidos del IPC (mayor nivel de conservación), corresponden exactamente con aquellos que presentan una mayor conservación de los sitios. A pesar de que son muy visitados, el acceso a estos tiene un costo elevado y existe un mayor control de acceso a los visitantes.



En el caso de los cenotes pertenecientes a Yucatán, al menos tres de ellos (Kankirixché, Noh Mozón y X-Batún), pertenecen a un tour popular y recurrente que se ofrece en Mérida. Dicho tour ofrece un recorrido a la zona arqueológica de Uxmal, que incluye un regreso donde se les permite a los turistas visitar estos cenotes. Cabe destacar que el acceso a estos sitios incluye precios accesibles. En este recorrido se encuentran tanto turistas nacionales como extranjeros.

El cenote Abejas se localiza en las afueras de Tulum, justo en la entrada de un complejo turístico o club de playa llamado Caleta-Tan Kah, lo que hace al lugar poco conocido y poco concurrido es que la mayor parte de las personas que visita el complejo, entra en automóvil y no paran a la entrada, lo que hace que se vuelve un sitio más exclusivo. En este complejo turístico se exhiben dos cenotes formados y una caleta que funciona como un gran atractivo turístico. Abejas es muy poco visitado debido a las siguientes características: no hay paso definido hacia él, ni ningún tipo de señalización, por tanto, no acceden muchas personas al sitio, el buceo que se realiza es solo de investigación y no turístico. Todas las características anteriores vuelven al cenote Abejas un lugar parcialmente conservado. Por tanto, es un magnífico lugar para promover e incitar que se siga conservando (IPC=34; el segundo puntaje más alto).

El cenote Buenavista se localiza en una zona privada, pertenece a un ejido. No hay acceso al público en general, solo se permite el acceso si se conoce a personas que tengan alguna relación con el ejido con el fin de obtener autorización para entrar. Razón por la cual no hay ningún cuidador, se podría nadar en este



cenote, pero no cuenta con ninguna infraestructura para ser un lugar recreativo. El agua es cristalina sin acumulación de materia orgánica, pero presenta grandes capas de sedimento en la alberca del cenote, haciendo que todo ese sedimento se resuspenda fácilmente en cuanto se ingresa al sistema, esto impide la visibilidad y la experiencia para los visitantes suele no ser muy grata. Debido a estas razones, el cenote Buenavista es muy poco visitado y eso deriva en que el hábitat original este actualmente muy poco impactado. Además de que existen una buena cantidad de especies. Es por eso que el cenote Buenavista presentó el más alto nivel de IPC, 37 puntos. Sin embargo, a pesar del buen grado de conservación que tiene Buenavista, actualmente cuenta con cambios recientes que han originado alteraciones en el hábitat original. Por ejemplo, entradas privadas a ranchos y construcciones como condominios, hoteles y estacionamientos espaciosos. El camino al cenote presentó cúmulos de grava, madera cortada, cemento, rocas en la orilla, incluso una retroexcavadora. Las modificaciones hacen que exista pérdida de selva. Las preguntas que quedan suspendidas en el aire son: cuánto tiempo más resistirá el cenote Buenavista, qué tan grande es su resiliencia, hasta dónde llegarán los intereses económicos de la administración actual para seguir modificando el sitio. Por último, es importante destacar que el cenote Buenavista está al lado del trazo cinco del tren maya, que va de playa del Carmen a Tulum. Es muy pronto para pronosticar el daño o la repercusión que esto tenga a mediano y largo plazo, pero es importante no descartar o minimizar esta perturbación originada por la construcción y la implementación en marcha del tren maya.



El cenote Nohoch Nah Chich, entra dentro de un tour de cenotes. A esta zona entran pocos automóviles particulares, porque la mayoría del transporte es por camiones de turistas. Cuenta con un amplio estacionamiento. A esta localidad se le da varios usos recreativos tanto para nadar como para buceo recreativo y de investigación, además se ofrecen entretenimientos como la tirolesa. Algunas veces es utilizado como lugar de practica para buzos de cueva (espeleobuceo), ya que presenta pasajes relativamente someros (menos de 8 m). Este cenote es el más explorado y buceado de la península de Yucatán desde la década de los 80's. Se trata de un sistema gigantesco que permite una amplia capacidad de carga de visitantes sin que el sistema se vea severamente perjudicado. Es verdad que el cenote Nohoch Nah Chich es muy visitado, pero debido a su amplia capacidad de carga (superior a otros cenotes), suelen encontrarse muchas especies en sus aguas cristalinas. Es por eso que la puntuación de IPC obtenida fue alta; 31 puntos.

El cenote Vaca Ha tiene la característica principal de que no se puede nadar en él, solo se permite bucear, lo que conlleva una cantidad menor de turistas. Razón por la cual no cuenta con estacionamiento. Sus aguas son poco cristalinas, pero existe una gran cantidad de peces en la alberca del cenote. Hay mucha vegetación y acumulación de materia orgánica. El cenote Vaca Ha obtuvo el segundo valor de IPC más alto, 34 (al igual que el cenote Abejas). Esta condición ha permitido que el hábitat original se mantenga intacto y que conserve un gran número de especies.

El cenote Ek Bis se encuentra localizado debajo de un pueblo, en medio de una comunidad rural, el acceso al sistema es caminando. Todas las personas





pueden ingresar a él sin ninguna restricción y muchas veces es empleado como punto de reunión, lo cual se refleja en gran cantidad de basura (latas, costales, ropa, bolsas de plástico, cubre bocas) y se requieren buceos con fines de limpieza. Por las condiciones de suciedad y basura no es propiamente un sitio turístico, la cantidad de turistas es bajo. Todo esto conlleva que las condiciones del hábitat se vean comprometidas y transformadas del original. Por eso el cenote Ek Bis obtuvo uno de los más bajos valores de IPC; 29. La fauna anquihalina puede verse a simple vista por sus aguas cristalinas y adquirirse de la manera más sencilla, de forma manual o con una red de acuario. Es decir, los crustáceos pueden ser observados a simple vista. Dentro de los géneros más representativos y relativamente abundantes de este cenote, encontramos: *Antromysis*, *Creaseria*, *Creaseriella* y *Typhlatya*.

El cenote Kankirixche es medianamente visitado, podría considerarse como un sitio con cantidad de turistas intermedio. Sin embargo, en este cenote se proporcionan diversos servicios para los turistas, que incluyen baños, regaderas, renta de chalecos y estacionamiento. A lo largo del tiempo se ha introducido maquinaria pesada para tener un camino regular hasta este cenote, se han instalado barandales, señalizaciones y escaleras. Dichas acciones han contribuido al retiro de vegetación y al cambio del hábitat original. Por lo cual el puntaje de IPC obtenido fue solo de 28 puntos, uno de los más bajos. Y es de esperarse tal resultado porque en este cenote llegan camiones de turistas para visitarlo, pues se encuentra dentro del tour que sale de Mérida a la zona arqueológica de Uxmal. En dicho recorrido se



incluye la visita a los cenotes Noh Mozón y X-batun. Estos tres cenotes son los más baratos y familiares, por eso la gran cantidad de turistas, además en ellos se puede tanto nadar como bucear.

El cenote Noh Mozón es muy visitado porque está dentro de un tour que sale desde Mérida (se hace un viaje específico para visitar dos cenotes más en conjunto, Kankirixche y X-batun). El efecto nocivo que esto conlleva es que el agua tiene cierto grado de contaminación que es evidente. Por esa razón este cenote obtuvo un IPC de 29 puntos. Es de fácil acceso llegar al cenote Noh Mozón, de hecho, es muy fácil localizarlo desde Google maps. Sin embargo, se conoce poco, solo por las escuelas de buceo, grupos de la región y de boca en boca.

El cenote X-batún es el cenote más famoso y visitado de todo Yucatán. Se han realizado vídeos musicales y hasta películas en este sitio. Es muy reconocido y las personas lo recomiendan ampliamente. Recibe una gran cantidad de turistas diariamente y más aún en época vacacional. La alberca del cenote se encuentra frecuentemente cubierta por lirios acuáticos, debido al alto grado de eutrofización que se ha producido en el sistema, como producto de la enorme cantidad de turistas que lo visitan. Desde hace poco tiempo se han implementado medidas de conservación para este sitio, como restringir la permanencia a solo 30 min por turista, prohibir el uso de bloqueador, pedir el uso de regaderas o duchas antes de entrar y no se permite el ingreso con alimentos. Hay constantes letreros de no tirar basura, respetar las reglas, no se permiten los clavados y de separar basura. Ofrece servicios para los turistas como un restaurante, tienda y sanitarios. A pesar del



constante manejo, mantenimiento e implementación de medidas de conservación en este cenote, las condiciones del hábitat original ya no son las mismas y el grado de deterioro del sistema es evidente. Razón por la cual el cenote X-batún obtuvo el IPC más bajo de todos los cenotes analizados, con solo 23 puntos.

NOTA: Todo el confinamiento sanitario vivido en el periodo de 2020-2022 debido a la emergencia sanitaria de salud padecida por el COVID-19 sirvió para darle un respiro a todos los sitios en general, pero se necesita seguir estudiando el estado en el que se encuentra cada sitio para tener un marco de referencia a futuro del cambio que pudiesen presentar o la conservación.

A manera de resumen, de acuerdo a los resultados obtenidos, se ve claramente que se separan las condiciones de los cenotes distribuidos en Quintana Roo de aquellos cenotes que están distribuidos dentro de Yucatán. Son condiciones totalmente diferentes y por tanto no toda la península de Yucatán es homogénea. Cada zona requiere su propia estrategia de conservación, es por ello que hay que regular la conservación en base a los resultados obtenidos, ya que cada lugar posee diferentes manejos de conservación y diferentes administraciones por sitio.



## CONCLUSIONES

1. Vale la pena tener un Índice de Prioridad de Conservación (IPC) porque nos permite jerarquizar sistemas anquihalinos con la finalidad de poder tomar decisiones cuando se tiene una limitación de recursos, priorizando los sitios que conserven la mayor parte de sus componentes biológicos prístinos y que tenga una riqueza de especies alta, así como endemismos o especies bajo alguna protección, como lo es el cenote Buenavista obtuvo el valor más alto del índice de prioridad de conservación con 37 puntos.
2. De las especies encontradas en los sitios estudiado, ocho especies no están bajo ninguna protección especial (47.1%). Siete especies están incluidas en la NOM-059 (41.2%) y cinco en la lista roja de especies amenazadas de la IUCN (29.4%).
3. El grupo más representativo de especies anquihalinas fueron los crustáceos, seguido de las esponjas. Los anélidos, equinodermos, moluscos y peces solo tienen una especie reportada para cada uno.
4. Existe la necesidad de invertir en el estudio de los sistemas anquihalinos, reconocer su importancia biológica y buscar alternativas para que se contribuya a su conservación.



## LITERATURA CITADA

- Alcocer, J., A. Lugo, L. Marín y E. Escobar. 1998. Hydrochemistry of waters from five cenotes and evaluation of their suitability for drinking-water supplies, northeastern Yucatan, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 6, 293–301. <https://doi.org/10.1007/s100400050152>
- Álvarez, F., T.M. Iliffe y J.L. Villalobos. 2005. Nuevas especies del género *Typhlatya* (Decapoda: Atyidae) de cuevas anchialinas en México, Bahamas y Honduras. *Revista de biología de crustáceos*, 25(1):81–94.
- Álvarez, F., B. Durán y S. Meacham. 2023. Anchialine Fauna of the Yucatan Peninsula: Diversity and Conservation Challenges. *In: Mexican Fauna in the Anthropocene*, Jones, R., P. Ornelas-García, R. Pineda-López y F. Álvarez (eds.). Springer: 287-298 pp.
- Álvarez, F. y T. Iliffe. 2008. Fauna anquihalina de Yucatán. *In: Crustáceos de México: Estado Actual de su conocimiento*, Álvarez, F. y G. Rodríguez (eds.). Dirección de publicaciones de la Universidad de Nuevo León, México. 379-418 pp.
- Álvarez, F., E. Escobar y J. Alcocer. 2000. Sistemas anquihalinos en México. *Ciencia y desarrollo*: 37-45 pp.
- Álvarez, F., T. Iliffe, S. Benítez, D. Brankovits y J.L. Villalobos. 2015. New records of anchialine fauna from the Yucatan Peninsula, México. *CheckList*, 11(1):1-10.
- Arriaga, L., V. Aguilar y J. Alcocer. (2000). Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México.
- Bautista, F. 2021. Los territorios kársticos de la península de Yucatán: caracterización, manejo y riesgos. *Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst*. 196 pp.
- Beddows, P., E. Blanchon, E. Escobar, y O. Torres-Talamante. 2007. Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología mexicana*, (2):33-35.
- 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., T.M. Iliffe, B. Quiroz-Martínez y F. Álvarez. 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., B. Kakuk y J. Torres. 2004. Life in the hypoxic and anoxic zones: metabolism and proximate composition of Caribbean troglobitic crustaceans with observations on the water chemistry of two anchialine caves. *Journal of Crustacean Biology*, **24**(3):379–392.
- Blanco, G., S. Enseñat y J. Mondragón. 2019. La capacidad de carga psicosocial del turista: instrumento de medición para el desarrollo sostenible en la turistificación de los cenotes. *Cuadernos de Turismo*, **43**:169-186.
- Bottrill M., L. Joseph, J. Carwardine, M. Bode, C. Cook, E. Game, H. Grantham, S. Kark, K. Linke, E. McDonald-Madden, R. Pressey, S. Walker, K. Wilson y H. Possingham. 2008. Is conservation triage just smart decision making?, *Trends in Ecology and Evolution*. **23**: 649-654.
- Brankovits, D., J.W. Pohlman, H. Niemann, M.B. Leigh, M. C. Leewis, K. W. Becker, T. M. Iliffe, F. Alvarez, M.F. Lehmann y B. Phillips. 2017. Methane and dissolved organic carbon-fueled microbial loop supports a tropical subterranean estuary ecosystem. *Nat Commun*, **8**, 1835. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01776-x>
- Calderón-Gutiérrez, F., F.A. Solís-Marín, P. Gómez, C. Sánchez, P. Hernández-Alcántara, F. Álvarez-Noguera y G. Yáñez-Mendoza. 2017. Mexican anchialine fauna with emphasis in the high biodiversity cave El Aerolito. *Regional Studies in Marine Science*, **9**:43-55.
- Camargo, T., L. Escalera-Vázquez y L. Zambrano. 2013. Fish community structure dynamics in cenotes of the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Yucatán Peninsula, Mexico. *Revista Mexicana de biodiversidad*, **84**(3):901-911.
- Cervantes, A. y M. Gutiérrez-Aguirre. 2009. Basic limnology of the karstic tourist lake Cenote Azul in Quintana Roo, Mexico. *Hidrobiológica*, **19**(2), 177-180.
- Chávez, E. 2015. Aspectos ecológicos y etológicos de decápodos estigobios (*Creaseria morleyi* y *Typhlatya* spp.) en cenotes de Yucatán: utilización espacio-temporal, cambios anuales y



- relaciones interespecíficas. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 78 pp.
- Chávez H., G. González, M. de Jesús y P. Hernández. 2015. Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, **6**(27): 8-23.
- Cortés, I. 2018. Los cenotes en el mercado de tierras ejidales del oriente de Yucatán (2013-2016). *Península*, **13**(1), 181-202.
- Durán, B.P. 2020. Redes tróficas en los ecosistemas anquihalinos: un estudio de isotopía estable. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Enseñat-Soberanis, F., R. Blanco-Gregory y J. Mondragón-Mejía. 2020. Percepción de congestión y dimensión social de la capacidad de carga en cenotes de Yucatán. Universidad de Murcia. *Cuadernos de Turismo*, **45**:93-112.
- Fischer, A. 2022. Así son los cenotes: el sistema subterráneo único que conecta a toda la Península de Yucatán. *National Geographic*. Recuperado el día 25 de agosto del 2023 de <https://www.ngenespanol.com/ecologia/que-es-un-cenote-y-cuales-son-sus-caracteristicas/#:~:text=Los%20cient%C3%ADficos%20de%20la%20UADY,de%20la%20P en%C3%ADnsula%20de%20Yucat%C3%A1n.>
- Folke, C., S. R. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Chapin and J. Rockström. 2010. Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, **15**(4): 20.
- García de Fuentes, A., S. Jouault y D. Romero. 2015. Atlas de Turismo Alternativo en la península de Yucatán. 1a ed. Mérida, Cinvestav-Universidad Mérida. 96 pp.
- García, G. y E. Garniel. 2010. Geología. *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Grego, J., D. Angyal y L. Beltrán. 2019. First record of subterranean freshwater gastropods (Mollusca, Gastropoda, Cochliopidae) from the cenotes of Yucatán state. *Subterranean Biology*, **29**: 79-88.





- Gulden, B. 2016. Worlds longest caves. Geo2 Committee on Long and Deep Caves. National Speleological Society (NSS).
- Hall, F.G. 1936. Physical and chemical survey of cenotes of Yucatán. *Carnegie Institution of Washington Publications*, **457**: 5-16.
- Hobbs, R., V. Cramer y L. Kristjanson. 2003. What happens if we can't fix it? Triage, palliative care and setting priorities in salinising landscapes. *Australian Journal of Botany*. 51:647-653.
- Holthuis, L. 1973. Caridean shrimps found in land-locked saltwater pools at four Indo-West Pacific localities (Sinai Peninsula, Funafuti Atoll, Maui and Hawaii Islands), with the description of one new genus and four new species. *Zool Verh Leiden*, **128**:1–48.
- Hoogesteijn, H., Febles-Patrón, J. y V, Nava-Galindo. 2005. La contaminación fecal en cenotes de interés turístico. *Ingeniería*, **19**(3):169-175.
- Iliffe, T. 2018. Collecting and processing crustaceans from anchialine and marine caves. *Journal of Crustacean Biology*, **38**(3): 374–379.
- Iliffe, T. y F. Álvarez. 2018. Research in Anchialine Caves. *In: Cave Ecology. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, Moldovan, O., Kováč, L. y Halse, S. (eds). Springer, Cham. 235 [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98852-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98852-8_18)
- Iliffe, T. y L. Kornicker. 2009. Worldwide diving discoveries of living fossil animals from the depths of anchialine and marine caves. *Smithsonian Contributions to Marine Sciences*, **38**: 269–280.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2021. El INEGI da a conocer los resultados de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares (ENIGH) 2020. Comunicado de prensa núm. 400/21.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2002. Anuario Estadístico del Estado de Yucatán. Dirección General de Difusión.
- Jouault, S. 2018. Mayas d´hier et d´aujourd´hui: le rôle des sociétés locales dans le développement touristique. Rennes: *Presses Universitaires de Rennes*. 271 pp.



- Jouault, S. y M. Jiménez. 2015. Región Cancún-Riviera Maya y su traspaís. *In: Atlas de Turismo Alternativo en la península de Yucatán*. Mérida, Yucatán, García de Fuentes, A., Jouault, S. y D. Romero. (eds.). Cinvestav-Unidad Mérida/UADY. 124-128 pp.
- Kent, M. y P. Coker. 1992. *Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach*. CRC Press. Florida, U.S.A. 363 pp.
- Koleff, P., M. Tambutti, I. March, R. Esquivel, C. Cantú y A. Lira-Noriega. 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación en México. CONABIO.
- Latofski-Robles, M. 2012. Restoration Priorities for Mexican Island. Tesis de maestría en ciencias naturales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 74 pp.
- Manning, R.E. y L.E. Anderson. 2012. *Managing outdoors recreation: Case Studies in the National Parks*. Wallingford.CABI Publishing. 252 pp.
- Martínez, J. y V. Martínez. 2016. *Identificación entre la flora y existencia de tardígrados en cenotes de Yucatán*. *Journal of Basic Sciences*, **2**(5):24-33.
- Medina-González, R. 2015. Aspectos biológicos de los cenotes de Yucatán. Departamento de Ecología Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 6 pp.
- Medina-Moreno, S., A. Jiménez-González, M. Gutiérrez-Rojas y M. Lizardi-Jiménez. 2014. Hydrocarbon pollution studies of underwater sinkholes along Quintana Roo as a function of tourism development in the Mexican Caribbean. *Revista mexicana de ingeniería química*, **13**(2): 509-516.
- Mejía-Ortiz, L., G. Yáñez y M. López-Mejía. 2007. Echinoderms in an anchialine cave in Mexico. *Marine ecology*, **28**(1): 31-34.
- Mejía-Ortiz, L.M., M. López-Mejía, J. Pakes, G. Hartnoll y E. Zarza-González. 2013. Adaptaciones morfológicas a ambientes anchialinos en especies de cinco familias de camarones (*Barbouria yanezi*, *Agostocris bozanici*, *Procaris mexicana*, *Calliasmata nohochi* y *Typhlatya pearsei*). *Crustaceana*, **86**(5): 578–593. 10.1163 / 15685403-00003197.



- Mercado-Salas, N., B. Morales-Vela, E. Suárez-Morales y T. Iliffe. 2013. Conservation status of the inland aquatic crustaceans in the Yucatan Peninsula, Mexico: shortcomings of a protection strategy. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **6**(23): 939-951.
- Monroy-Ríos, E. 2016. *¿Cómo se formaron cuevas y cenotes? Espeleogénesis*. Recuperado el día 25 de octubre del 2020 de <https://sites.northwestern.edu/monroyrios/2016/05/20/espeleogenesis/#.X5buHYhKgsV>.
- Newsome, D., R. Dowling y S.A. Moore. 2005. Wildlife tourism. *Channel View Publications*, **24**:320 pp.
- Orellana, R. 2020. Tipos de clima. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Pérez, R. 2002. Entre la tradición y la modernidad: Antropología de la memoria colectiva. Segunda edición. Plaza y Valdés. 287 pp.
- Poot, L. 2016. Evaluación de la sorción de plaguicidas usados para el mantenimiento de un campo de golf en suelo de la Riviera Maya, Quintana Roo. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. 130 pp.
- Quintana Roo Speleological Survey. 2000. Quintana Roo Speleological Survey. Recuperado el día 17 de Julio del 2022 de <https://caves.org/project/qrss/qrss.htm>.
- Rojo, R. 2005. Las cuevas de México. CONABIO. *Biodiversitas*, **62**: 8-11.
- Rosenzweig, L. y M. Álvarez. La conservación del sistema de ríos subterráneos de la península de Yucatán. Este país. Recuperado el día 31 de agosto del 2023 de <https://estepais.com/ambiente/la-conservacion-del-sistema-de-rios-subterraneos/>
- Salm, R.V., J. Clark y E. Siirila. 2000. Marine and coastal protected areas: A guide for planners and managers. IUCN. Washington. D.C.
- Sánchez, M., J. Alcocer, E. Escobar y A. Lugo. 2002. Phytoplankton of cenotes and anchialine caves along a distance gradient from the northeastern coast of Quintana Roo, Yucatan Peninsula. *Hydrobiologia*, **467**:79–89.



- Sánchez, O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano. 2007. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México: Instituto Nacional de Ecología. 293 pp.
- SEDUMA. 2014. Reglamento de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán en Materia de Cenotes, Cuevas y Grutas. Pub. L. No. Decreto 193/2014, 1, 2014. México.
- SEDUMA. 2018. Oficio No. VI-1226-18. Mérida, Yucatán.
- SEFOTUR. 2017. Listado de cenotes con uso turístico. Mérida, Yucatán.
- Schmitter-Soto, J., E. Escobar-Briones, J. Alcocer, E. Suárez-Morales, M. Elías-Gutiérrez y L. Marín. 2002. *In: Lagos y presas de México*. De la Lanza, G. y García, J.L. (eds.). México: AGT Editor.
- Solís-Marín, F.A. y A. Laguarda-Figueras. 2010. A new species of starfish (Echinodermata: Asteroidea) from an anchialine cave in the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **81**:663-668.
- Universidad Nacional Autónoma de México. 1998. La península de Yucatán en el Archivo General de la Nación. Archivo General de la Nación (México) 432 pp.
- Wiens, J. y R. Hobbs. 2015 Integrating Conservation and Restoration in a Changing World. *BioScience*, **65**: 302–312. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu235>
- Young T.P. 2000. Restoration ecology and conservation biology, *Biological Conservation*. **92**: 73-83.
- Young T.P., D. Petersen y J. Clary. 2005. The ecology of restoration: Historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecology Letters*. **8**: 662-673.
- Yucatandiving. 2019. Ecosistemas Cenotes. Recuperado el día 25 de agosto del 2023 de <https://yucatandivingfest.com/ecosistemas-cenotes/>



## GLOSARIO

**Acuífero:** Conjunto de rocas que permiten la permeabilidad del agua y la pueden acumular en sus poros o grietas.

**Agua subterránea:** Aguas de lluvia que caen sobre una tierra que puede ser penetrada por algún líquido, que luego descienden lentamente, bajo la acción de la gravedad, hasta encontrar un terreno o asiento impermeable.

**Anaeróbico:** Organismo capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno.

**Anélido:** Filo de animales invertebrados protóstomos acuáticos y terrestres de aspecto vermiforme, por lo general con el cuerpo segmentado en anillos, el embrión en este grupo da origen a una larva característica denominada trocófora o bien presentan desarrollo directo, las formas conspicuas de este phylum se diferencian en tres grupos: Polychaeta, Oligochaeta e Hirudinea.

**Anóxico:** Ambiente sin oxígeno.

**Anquihalino:** Sistemas subterráneos donde interacciona agua dulce o salobre con agua marina, los cuales se localizan dentro de surcos o cavernas que se extienden tierra adentro, hasta el límite de penetración del agua marina.

**Caliza:** Roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita y otros carbonatos.

**Carstificación:** Fenómeno producido en un suelo por la presencia de yeso y calizas, lo que puede dar lugar al efecto de disolución, esto conlleva la aparición de



oquedades, rellenas o no, que pueden hundir partes del terreno en forma brusca, provocando problemas estructurales.

**Cenote:** Pozo, estanque o manifestación cárstica, formado por el colapso de roca caliza que expone el acuífero.

**Cnidarios:** Animales acuáticos, solitarios o coloniales, cuerpo organizado alrededor de un eje oral-aboral, cavidad gastrovascular o celenterón, con una sola abertura, rodeada de tentáculos, que funcionan como boca y ano, con organelos especializados llamados cnidocitos con funciones urticantes y adhesivas. Ciclo de vida dimórfico, con alternancia de generaciones entre una fase hidroide sésil (pólipo) y una medusoide libre-nadadora (medusa) y con desarrollo indirecto con formación de una larva plánula.

**Colapso:** Destrucción o ruina de un sistema o una estructura.

**Comunidad:** Ensamblado de poblaciones de diferentes especies que interactúan en espacio y tiempo.

**Conservación:** Mantenimiento o cuidado que se le da a algo con la clara misión de mantener de modo satisfactorio e intactas sus cualidades, formas, entre otros aspectos.

**Conservado:** Mantener en el mismo estado, características o condiciones sin alteración.

**Corrosión química:** Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

**Cosmovisión:** Manera de ver e interpretar el mundo.



**Crustáceos:** Subfilo de artrópodos parafilético, caracterizándose así, por tener el cuerpo segmentado y por contar con numerosos apéndices articulados y birrámeos, una fase larval denominada nauplio, dos pares de antenas.

**Cueva litoral:** Cavidad natural del terreno causada por la erosión de las corrientes de agua marina.

**Cueva submarina:** Cavidades que se encuentran inundadas de agua marina, de forma permanente.

**Deforestar:** Proceso provocado por la acción de los humanos, en el que se destruye o agota la superficie forestal, generalmente con el objetivo de destinar el suelo a otra actividad.

**Densidad:** Magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido.

**Disolución:** También se puede definir como una mezcla homogénea formada por un disolvente y por uno o varios solutos.

**Dolomita:** Mineral compuesto de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y magnesio (Mg).

**Efluente:** Corresponde a un curso de agua, también llamado distributivo, que se separa y aleja de una corriente principal, ya sea un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial.

**Endémico:** Distribución de un taxón limitada a un ámbito geográfico reducido y que no se encuentra de forma natural en ninguna otra parte del mundo.

**Equinodermos:** Miembros del phylum Equinodermata, son invertebrados principalmente marinos, pero también hay anquihalinos que están representados





por las estrellas de mar y sus afines (lirios de mar, ofiuros, erizos y pepinos de mar). Se caracterizan por tener una simetría bilateral primaria en larvas y simetría pentarradial secundaria en adultos, el cuerpo se reconoce por dos regiones oral y aboral y poseen espinas en el cuerpo, además de un sistema vascular acuífero.

**Especie amenazada:** Especie susceptible de extinguirse en un futuro próximo.

**Espanja:** Phylum Porifera, se distinguen por tener su cuerpo lleno de poros y canales por donde circula una corriente continua de agua. Internamente están formados por conjuntos de células poco organizados que mantienen una actividad celular casi independiente y carecen de órganos especializados.

**Estigobita:** Flora y fauna estrictamente ligada a hábitats subterráneos, como las cuevas.

**Extrínseco:** Que es adquirido o superpuesto a la naturaleza propia de algo.

**Factores intrínsecos:** Propiedades fisiológicas o sociológicas.

**Factores extrínsecos:** Se relacionan con los fenómenos físicos naturales que implican el aislamiento geográfico.

**Galería sumergida:** Cavidades de una cueva inundada.

**Gasterópodos:** Clase de moluscos dotados de un pie carnoso que les sirve para arrastrarse, con el cuerpo generalmente protegido por una concha o caparazón de una sola pieza y uno o dos pares de tentáculos sensoriales en la cabeza.

**Glacioeustáticos:** Variación global del nivel del mar debido al aumento o disminución del volumen total de agua alojada en los océanos en función de la formación o fusión del hielo acumulado en los continentes.



**Grados de carstificación:** Grado de disolución de la roca.

**Grieta tectónica:** Abertura alargada y con muy poca separación entre sus bordes, que se hace en la tierra a causa de los plegamientos, deformaciones y fallas de la corteza terrestre.

**Gruta:** Cavidad abierta de forma natural o excavada por un animal o por el hombre en las rocas.

**Hábitat:** Conjunto de factores físicos y geográficos que inciden en el desarrollo de un individuo, una población, una especie o grupo de especies determinados.

**Halita:** Mineral sedimentario, el cual se puede formar por la evaporación de agua salada, en depósitos sedimentarios y domos salinos.

**Haloclina:** Capa de la columna de agua en la que la salinidad del agua cambia rápidamente con la profundidad, puede ser permanente o efímera. En ambos casos, el agua dulce flota y se sitúa en la zona más superficial, al ser menos densa que el agua marina, que tiene sales disueltas. En los cenotes del Yucatán, es frecuente que el agua marina penetre en los sistemas subterráneos, produciendo una haloclina que puede aparecer entre los 10 y los 60 m de profundidad, dependiendo de la distancia a la costa y de la topografía del propio sistema kárstico.

**Hipóxico:** Que contiene muy poco oxígeno.

**Historia geológica:** Eventos geológicos que tuvieron lugar en el pasado y que ayudan a reconstruir las diferentes etapas que ha sufrido la superficie de la tierra hasta la actualidad.



**Impacto:** Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

**Índice de diversidad:** Parámetros que nos permiten medir la riqueza de organismos, también es usado para cuantificar la biodiversidad de un hábitat. Toma un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa, ya que representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. Es decir, cuanto más se acerca el valor de este índice a la unidad, existe una mayor posibilidad de dominancia de una especie y de una población y cuanto más se acerque el valor de este índice a cero, mayor es la biodiversidad de un hábitat.

**Índice de prioridad de conservación:** Parámetros que permiten priorizar las localidades a las que se les tiene que dar atención inmediata para su conservación.

**Intrínseco:** Que es propio o característico de la cosa que se expresa por sí misma y no depende de las circunstancias.

**Karst:** Forma de relieve originada por meteorización química de determinadas rocas compuestas por minerales solubles en agua.

**Kárstica(o):** Que está producido por la acción erosiva o disolvente del agua.

**Limnética:** Corresponde a la zona de las aguas abiertas que se extienden hasta la profundidad donde se alcanza el nivel de compensación, es decir, donde la fotosíntesis equilibra a la respiración.



**Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN:** Inventario del estado de conservación de especies de animales y plantas a nivel mundial, elaborado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

**Litología:** Parte de la geología que estudia las características de las rocas que aparecen constituyendo una determinada formación geológica.

**Mareas:** Cambio periódico del nivel del mar producido principalmente por las fuerzas de atracción gravitatoria que ejercen el Sol y la Luna sobre la Tierra.

**Materia orgánica:** Materia elaborada de compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural.

**Materia orgánica disuelta:** Mezcla heterogénea de macro-moléculas, cuyos principales componentes en las aguas dulces son sustancias húmicas, carbohidratos y aminoácidos.

**Materia orgánica particulada:** Materia orgánica del suelo de entre 0,053 mm y 2 mm de tamaño.

**Metabolismo microbiano:** Conjunto de procesos por los cuales un microorganismo obtiene la energía y los nutrientes (carbono, por ejemplo) que necesita para vivir y reproducirse.

**Matriz:** Composición de arcillas, caliza y/o dolomía.

**Mayas:** Pueblo mesoamericano que abarco el sureste de México desde la Época Preclásica (2000 a.C. – 250 d. C.) del continente, hasta la Época Posclásica (900-1527 d. C.), cuando se produjo la Conquista de América.



**Mitos:** Narraciones que expresan las ideas ancestrales de un pueblo acerca del mundo en el cual vive. Surgieron para que dichos pueblos le puedan dar una respuesta a cuestiones que les resultaban inexplicables.

**Península:** Extensión de tierra que está rodeada de agua por todas partes excepto por una zona o istmo que la une al continente.

**Perturbación:** Alteración o trastorno que se produce en el orden o en las características permanentes que conforman una cosa o en el desarrollo normal de un proceso. En ecología una perturbación es una alteración del ecosistema producido por un disturbio ya sea natural o artificial.

**Perturbado(a):** Que tiene un trastorno o una alteración de su característica o condiciones.

**Piedra caliza cárstica:** Roca sedimentaria que al menos está compuesta por el 50% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) a manera de calcita erosionada por agua.

**Porosidad:** Propiedad de un material vinculada a los espacios vacíos de los que dispone en su superficie o estructura, alude a la medida y el tamaño de sus huecos y por su porosidad. Un material puede ser más o menos permeable, esto se debe a que los poros le brindan una cierta capacidad para la absorción de fluidos.

**Poza:** Hoyo donde se acumula el agua.

**Proceso geomorfológico:** Evolución del relieve terrestre con la dinámica del ciclo geográfico mediante una serie de procesos constructivos y destructivos, que se ven permanentemente afectados por la fuerza de gravedad que actúa como



equilibradora de los desniveles. Es decir, hace que las zonas elevadas tiendan a caer y colmatar las zonas deprimidas.

**Quetognato:** Filo de animales acuáticos de vida libre, la mayoría marinos y pelágicos, con cuerpo vermiforme y aplanado dorsoventralmente, cabeza caracterizada por la presencia de un par de grandes mandíbulas armadas con una hilera de fuertes y curvadas espinas quitinosas y una o dos series de pequeños dientes quitinosos a los lados de la boca. Depredadores marinos, que forman parte del plancton oceánico en todo el planeta.

**Roca caliza:** Roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) y otros carbonatos.

**Roca soluble:** Roca que se forma cuando el agua ligeramente ácida interactúa con la roca caliza y crea bicarbonato cálcico ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), un compuesto muy soluble. A partir de ahí, cuando las aguas superficiales y subterráneas penetran en las grietas de las rocas, las disuelven poco a poco hasta crear las cuevas y otras formas características de este relieve.

**Roca volcánica:** Roca ígnea que se forma por el enfriamiento de lava en la superficie terrestre o de magma a escasa profundidad.

**Salinidad:** Contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua.

**Salobre:** Cuerpo de agua que contiene más sales disueltas que el agua de ríos y lagos, pero menos que el agua de los océanos, se considera a la que posee entre 0.5 y 30 gramos de sal por litro.



**Tantulocaridos:** Crustáceos de la clase Hexanauplia, dentro del infraorden Multicrustacea. Son marinos, ectoparásitos permanentes de crustáceos del meio bentos y tiene un ciclo de vida sofisticado, en el que la etapa larvaria se llama tantulus, que se adapta tanto a la natación libre en los sedimentos como al modo de vida parasitario.

**Taxones:** Subdivisiones de la clasificación biológica, desde la especie, que se toma como unidad, hasta el filo o tipo de organización.

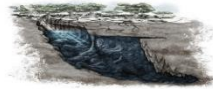
**Trama alimentaria:** Intervención de muchas cadenas alimenticias entrelazadas en una red.

**Turbeláριο:** Plante minto vermiforme también conocido como planaria, caracterizado porque su epidermis es ciliada, con organelos llamados rabdites que le permiten la liberación de sustancias tóxicas defensivas. Su cuerpo no es segmentado y carecen de órganos de fijación diferenciados, por lo general son de vida libre, marinos, de agua dulce y terrestres.

**Viento de tormenta:** Flujo del aire a gran escala en la atmósfera terrestre provocado por un fenómeno meteorológico caracterizado por la coexistencia próxima de dos o más masas de aire y agua de diferentes temperaturas.

**Yeso:** Mineral compuesto de sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que puede formar rocas sedimentarias.





## ANEXOS

### Anexo I

Composición taxonómica en la región. Considerando que la biota de Cozumel es endémica a Cozumel.

Especies reportadas para la península de Yucatán e isla de Cozumel.

Especies	Taxones
<b>Península de Yucatán</b>	
<i>Antromysis cenotensis</i>	C
<i>Bahadzia bozanici</i>	C
<i>Bahadzia setodactylus</i>	C
<i>Balinella yucatanensis</i>	C
<i>Barbouria cubensis</i>	C
<i>Calliasmata nohochi</i>	C
<i>Cirolana (Anopsilana) yucatanana</i>	C
<i>Creaseria morleyi</i>	C
<i>Creaseriella anops</i>	C
<i>Curassanthura yucatanensis</i>	C
<i>Diacyclops chakan</i>	C
<i>Diacyclops puuc</i>	C
<i>Exumella tsonot</i>	C
<i>Halicyclops cenoticola</i>	C
<i>Haptolana bowmani</i>	C
<i>Haptolana yunca</i> -- <i>Cirolana yunca</i>	C
<i>Humphreysella mexicana</i>	C
<i>Jonga serrei</i>	C
<i>Mayaweckelia cenoticola</i>	C
<i>Mayaweckelia troglomorpha</i>	C
<i>Mayaweckelia yucatanensis</i>	C
<i>Mesocyclops chaci</i>	C
<i>Mesocyclops yutsil</i>	C
<i>Metacirolana mayana</i>	C
<i>Mexicophría cenoticola</i>	C
<i>Ophisternon infernale</i>	P
<i>Prehendocyclops abbreviatus</i>	C
<i>Prehendocyclops boxshalli</i>	C
<i>Prehendocyclops monchenkoi</i>	C
<i>Pseudopolycope helix</i>	C



<i>Spelaeoecia mayan</i>	C
<i>Speleonerilla sp.</i>	A
<i>Stygiomysis cokei</i>	C
<i>Stygiomysis cf. holthuisi</i>	C
<i>Teinostoma brankovitsi</i>	M
<i>Triacanthoneus akumalensis</i>	C
<i>Tulumella unidens</i>	C
<i>Tuluweckelia cernua</i>	C
<i>Typhlatya campecheae</i>	C
<i>Typhlatya dzilamensis</i>	C
<i>Typhlatya mitchelli</i>	C
<i>Typhlatya pearsei</i>	C
<i>Typhliasina pearsei</i>	P
<i>Xibalbanus fuchscockburni</i>	C
<i>Xibalbanus tulumensis</i>	C
<i>Yagerocaris cozumel</i>	C
<i>Yucatalana robustispina</i>	C
<b>Isla Cozumel</b>	
<i>Agostocaris bozanici</i>	C
<i>Agostocaris zabaletai</i>	C
<i>Anchialocaris paulini</i>	C
<i>Calyx maya</i>	O
<i>Cinachyrella kuekenthali</i>	O
<i>Copidaster cavernicola</i>	E
<i>Diplastrella cozumella</i>	O
<i>Discodermia adhaerens</i>	O
<i>Haliclona (Halichoelona) chankanaabiis</i>	O
<i>Haliclona (Reniera) stygobia</i>	O
<i>Janicea antiguensis</i>	C
<i>Neosiphonia microtiaeneae</i>	L
<i>Parhippolyte sterreri</i>	C
<i>Plakinastrella onkodes</i>	O
<i>Procaris mexicana</i>	C
<i>Siphonidium ramosum</i>	O
<i>Speleophria germanyanezi</i>	C
<i>Stephos fernandoi</i>	C
<i>Svenzea germanyanezi</i>	O
<i>Xibalbanus cozumelensis</i>	C

Nota: A=Anélido, C=Crustáceo, Eq=Equinodermo, Es=Esponja, M=Molusco y P=Pez.



## Anexo II

Categorías de protección de las 17 especies encontradas en los 8 sitios estudiados.

Especies	Especies endémicas	Especies incluidas en la NOM-059	Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN	Especies bajo ninguna protección
<i>Antromysis cenotensis</i>	✓	✓		
<i>Calliasmata nohochi</i>	✓			✓
<i>Creaseria morleyi</i>	✓	✓	✓	
<i>Creaseriella anops</i>	✓	✓		
<i>Curassanthura yucatanensis</i>	✓			✓
<i>Jonga serrei</i>	✓		✓	
<i>Mayaweckelia cenoticola</i>	✓			✓
<i>Stygiomysis cokei</i>	✓			✓
<i>Stygiomysis holthuisi</i>	✓			✓
<i>Tulumella unidens</i>	✓			✓
<i>Tuluweckelia cernua</i>	✓			✓
<i>Typhlatya dzilamensis</i>	✓			✓
<i>Typhlatya mitchelli</i>	✓	✓	✓	
<i>Typhlatya pearsei</i>	✓	✓	✓	
<i>Typhliasina pearsei</i>	✓	✓	✓	
<i>Xibalbanus tulumensis</i>	✓	✓		
<i>Yucatalana robustispina</i>	✓			✓
<b>Totales</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>9</b>