



# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

## **TESIS**

VARIACIÓN ESPACIAL DE UN  
ENSAMBLAJE DE GASTERÓPODOS  
BENTÓNICOS EN EL CENOTE  
CHUCUMALTIK, COMITÁN, CHIAPAS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA Y MANEJO  
INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA:

**EMILIO GRAJALES RABASA**



Tonalá, Chiapas

Febrero 2025

# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

## TESIS

VARIACIÓN ESPACIAL DE UN  
ENSAMBLAJE DE GASTERÓPODOS  
BENTÓNICOS EN EL CENOTE  
CHUCUMALTIK, COMITÁN, CHIAPAS.

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA Y MANEJO  
INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA:

**EMILIO GRAJALES RABASA**

DIRECTOR:

**DR. EMILIO ISMAEL ROMERO BERNY**

LABORATORIO INTERDISCIPLINARIO DE ECOLOGÍA COSTERA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS  
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

ASESOR

**MTRO. JOSE JUAN JIMÉNEZ GONZÁLEZ**

COMITÉ DE BUCEO CIENTÍFICO  
FEDERACIÓN MEXICANA DE ACTIVIDADES SUBACUÁTICAS  
CONFEDERACIÓN MUNDIAL DE ACTIVIDADES SUBACUÁTICAS





**Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas**  
**Dirección de Servicios Escolares**  
**Departamento de Certificación Escolar**  
Autorización de impresión



Lugar: Tonalá, Chiapas  
Fecha: 7 de julio de 2025

C. Emilio Grajales Rabasa

Pasante del Programa Educativo de:

Licenciatura en Biología marina y Manejo integral de cuencas

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

**Variación espacial de un ensamble de gasterópodos bentónicos en el cenote**

**Chucumaltik, Comitán, Chiapas**

En la modalidad de **Tesis**

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

**Revisores**

Dr. Fredi Eugenio Penagos García

Ing. Víctor Manuel Guillén Rodríguez

Dr. Emilio Ismael Romero Berny

**Firmas:**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al principalmente al Dr. Emilio Ismael Romero Berny por el recibimiento cálido en el Laboratorio Interdisciplinario de Ecología Costera al haber llegado como un forastero, por todo el apoyo brindado en el seguimiento de este proyecto, por todos los consejos y comentarios que han tenido un efecto positivo en mí, es un gran investigador y, sobre todo, una gran persona.

Agradezco al Dr. Jesús Manuel López Vila por la amistad y los consejos brindados, la participación del LIECO en el congreso en Veracruz quedará como una gran experiencia.

Al Biólogo marino (próximamente M. C.) Juan Antonio Toledo González por su amistad y los consejos en el tiempo que estuvo presente en el laboratorio.

Agradezco a mis sinodales: Dr. Fredi Eugenio Penagos García y Ing. Victor Manuel Guillén Rodríguez; por aceptar y tomarse el tiempo para ser revisores en este trabajo de grado.

Agradezco al equipo de Bucea en Chiapas por todo el apoyo durante mi formación como buzo deportivo: al Mtro. José Juan Jiménez González por la dedicación en cada clase y en cada salida, por todo el apoyo a lo largo del curso; al Biologo Oscar Raúl Sánchez Morales por todos los consejos para ir poco a poco mejorando con cada inmersión.

Gracias a mis compañeros de laboratorio Belén, Lizet, Andrea, Arturo, Mariana, Estefanía, Dorisdey, Daniela, las experiencias en campo y en las clases no se olvidan.

Agradezco infinitamente a mi familia, especialmente a mi madre María del Socorro Rabasa Pimentel y a mi padre Isidro Alberto Grajales Nango, por su amor incondicional y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles, gracias por todo su apoyo y todas las oportunidades brindadas. También agradezco a mi hermana Valeria Grajales Rabasa, mi compañera de aventuras quien en cierta medida me inspira a hacer algunas cosas fuera de lo común.

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi familia, gracias a su presencia y todo el apoyo que me brindaron pudo ser posible el culminar mi formación académica hasta este grado. A mis padres por el amor infinito, todos los sacrificios y enseñanzas que me impulsaron a seguir adelante, gracias por estar siempre, por su paciencia, por las palabras de aliento para lograr lo que siempre soñaba. A mi hermana por el apoyo emocional que me brindó siempre, por todas las risas y lágrimas.

“La felicidad de la abeja y la del  
delfin es existir.

La del hombre es descubrir esto y  
maravillarse por ello”.

-Jacques Yves Cousteau

## ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 BENTOS .....	4
2.2 MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS .....	5
2.2.1 Phylum Mollusca .....	6
2.2.2 Clase Gastrópoda .....	7
2.3 CENOTES.....	8
2.3.1 Origen .....	9
2.3.2 Importancia .....	10
2.4 ESTUDIOS ECOLÓGICOS.....	11
2.4.1 Estudios ecológicos en gasterópodos.....	11
2.5 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN SUBACUATICAS .....	12
2.5.1 Aplicación de técnicas de investigación subacuáticas en el estudio del bentos .....	13
III. ANTECEDENTES .....	15
IV. OBJETIVOS E HIPOTESIS .....	18
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4.3 HIPOTESIS.....	18
V. ZONA DE ESTUDIO .....	19
5.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	19
VI. MÉTODOS.....	20
6.2 TABAJO DE LABORATORIO .....	24
6.3 ANÁLISIS DE DATOS.....	25
6.3.1 Dominancia .....	25
6.3.2 Diversidad .....	25
6.3.3 Equitatividad.....	25
6.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	26
VII. RESULTADOS.....	27
7.1. RIQUEZA Y COMPOSICIÓN TAXONÓMICA.....	27

7.2. AUNDANCIA Y DOMINANCIA.....	29
7.3 DIVERSIDAD .....	32
7.4 EQUITATIVIDAD.....	33
7.5 PARAMETROS AMBIENTALES .....	33
7.6 ANÁLISIS DE SIMILITUD .....	34
VIII. DISCUSIÓN .....	37
IX. CONCLUSIÓN .....	43
X. RECOMENDACIONES .....	44
XI. REFERENCIAS .....	45

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organismos bentónicos de un ecosistema acuático (Chumpitaz Cárdenas, 2017).....	4
Figura 2. Grupos de macroinvertebrados presentes en ambientes dulceacuícolas (Hanson <i>et al.</i> , 2010) .....	5
Figura 3. Esquematización de las clases pertenecientes al filo Mollusca .....	6
Figura 4. Anatomía general de los gasterópodos (Camacho y Del Río, 2008).....	8
Figura 5. Diagrama esquematizado de paisaje kárstico. Tomado de Tesis de Maestría Obando Amador (2023), modificado de Taylor y Greene (2014).....	9
Figura 6. Esquema de morfología de cuerpos de agua “kársticos” o cenotes según su origen; disolución o colapso (Ordoñez Crespo y García Rodríguez, 2010) .....	10
Figura 7. Buzos aplicando técnicas de prospección y obtención de datos y material biológico.....	13
Figura 8. Buzos realizando la recolección de material biológico .....	14
Figura 9. Imagen satelital del cenote tomada desde Google Earth Pro.....	20
Figura 10. Puntos de muestreo .....	22
Figura 11. Colocación del transecto .....	23
Figura 12. Greca de planificación del transecto .....	23

Figura 13. Buzo extrayendo sedimento con ayuda del nucleador .....	24
Figura 14. Recolección de muestras .....	24
Figura 15. Abundancias relativas de los taxones presentes .....	30
Figura 16. Dominancia promedio en los diferentes sustratos.....	31
Figura 17. Índice de diversidad específica de Shannon-Wiener.....	32
Figura 18. Índice de diversidad específica de Margalef .....	32
Figura 19. Índice de equitatividad de Pielou con los respectivos tipos de sustrato .....	33
Figura 20. Gráfico NMDS con la ordenación de cuadrantes de muestreo teniendo en referencia a las familias encontradas dentro del cenote de Chucumaltik .....	34
Figura 21. Dendograma de similitud de acuerdo al tipo de sustrato y numero de cuadrantes muestreado .....	35

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Herramientas a utilizar durante los muestreos .....	21
Tabla 2. Fichas con los taxones presentes en el Cenote de Chucumaltik .....	28
Tabla 3. Abundancia de las familias de gasterópodos bentónicos en cada hábitat del cenote de Chucumaltik.....	29
Tabla 4. Promedio de organismos pertenecientes a los taxones de acuerdo al tipo de sustrato donde se recolecto con respectiva desviación estándar .....	31

## RESUMEN

El bentos comprende los organismos que habitan en el fondo de cuerpos de agua, clasificándose según su hábitat (hiperbentos, epibentos, endobentos) y tamaño (macrobentos, meiobentos, microbentos). Los moluscos, en particular los gasterópodos, destacan por su diversidad y adaptabilidad a diversos ambientes acuáticos. Los cenotes, formados por la disolución de rocas calizas, son ecosistemas únicos en México, con gran relevancia ecológica y cultural. Para el estado de Chiapas es nula la información acerca de macroinvertebrados en cenotes, es por eso que el objetivo de este trabajo fue caracterizar las comunidades de gasterópodos bentónicos en el cenote de Chucumaltik, así como sus interacciones con parámetros ambientales. Mediante recolectas usando equipo SCUBA se identificaron tres hábitats con variaciones en el cenote de Chucumaltik: fango (HF), rocoso (HR) y con vegetación sumergida (HV), donde se colocaron transectos de 15 m de largo y se extrajeron muestras de sedimento cada 7.5 m. Se identificaron tres familias de gasterópodos: Planorbidae, Hydrobiidae y Physidae. Planorbidae fue la más abundante (10,020 organismos), seguida de Hydrobiidae (4,389) y Physidae (14). El hábitat fangoso registró la mayor abundancia, mientras que el hábitat con vegetación mostró la mayor diversidad ( $H'=0.4436$ ) y equitatividad ( $J=0.60335$ ). No se encontraron diferencias significativas en la abundancia entre hábitats ( $p=0.6151$ ).

La dominancia de Planorbidae se explica por su capacidad para prosperar en condiciones de baja oxigenación y alta materia orgánica. La mayor diversidad en el hábitat con vegetación se debe a los servicios ecológicos que ofrece, como refugio y zonas de alimentación. Aunque no hubo diferencias significativas entre hábitats, el tipo de sustrato influyó en la distribución de las especies. Se recomienda ampliar los estudios para incluir variaciones temporales y mediciones adicionales de parámetros fisicoquímicos, como oxígeno disuelto y materia orgánica, para un análisis más completo.

**Palabras clave:** Mollusca, Gastropoda, Cenote, Variación espacial, Abundancia, Dominancia.

## ABSTRACT

The benthos comprises organisms that inhabit the bottom of water bodies, classified according to their habitat (hyperbenthos, epibenthos, endobenthos) and size (macrobenthos, meiobenthos, microbenthos). Mollusks, particularly gastropods, stand out for their diversity and adaptability to various aquatic environments. Cenotes, formed by the dissolution of limestone, are unique ecosystems in Mexico with significant ecological and cultural importance. For the state of Chiapas, information on macroinvertebrates in cenotes is scarce, which is why the objective of this study was to characterize the benthic gastropod communities in the Chucumaltik cenote, as well as their interactions with environmental parameters. Using SCUBA equipment, three habitats with variations were identified in the Chucumaltik cenote: muddy (HF), rocky (HR), and submerged vegetation (HV), where 15-meter transects were established, and sediment samples were collected every 7.5 meters. Three families of gastropods were identified: Planorbidae, Hydrobiidae, and Physidae. Planorbidae was the most abundant (10,020 organisms), followed by Hydrobiidae (4,389) and Physidae (14). The muddy habitat recorded the highest abundance, while the habitat with vegetation showed the highest diversity ( $H' = 0.4436$ ) and evenness ( $J = 0.60335$ ). No significant differences in abundance were found between habitats ( $p = 0.6151$ ). The dominance of Planorbidae is explained by its ability to thrive in conditions of low oxygen and high organic matter. The greater diversity in the habitat with vegetation is due to the ecological services it provides, such as shelter and feeding zones. Although there were no significant differences between habitats, the type of substrate influenced species distribution. It is recommended to expand studies to include temporal variations and additional measurements of physicochemical parameters, such as dissolved oxygen and organic matter, for a more comprehensive analysis.

**Keywords:** Mollusca, Gastropoda, Cenote, Spatial variation, Abundance, Dominance.

# I. INTRODUCCIÓN

Se le denomina como bentos a aquel conjunto de organismos que habitan en torno al fondo de cuerpos de agua. Pueden clasificarse de acuerdo al hábitat específico: hiperbentos (organismos con buena capacidad de nado que realizan migraciones verticales sobre el sustrato), epibentos (organismos que habitan sobre la superficie del sustrato) y endobentos (organismos que viven enterrados en el sustrato); así como también pueden ser clasificados en función a la talla: macrobentos (>500  $\mu\text{m}$ ), meiobentos (<500  $\mu\text{m}$  y >63  $\mu\text{m}$ ) y microbentos (<63  $\mu\text{m}$ ) (Pech Pool y Ardisson Herrera, 2010).

Los moluscos constituyen un phylum numeroso y variado, siendo habitantes de ambientes marinos, salobres, dulceacuícolas y terrestres; después de los insectos son los invertebrados más numerosos en la actualidad, conociéndose por lo menos 50000 especies. Incluyen organismos identificables por el público en general: los caracoles, almejas, ostras, pulpos y calamares (Camacho, 2008). Los gasterópodos constituyen la clase más numerosa de moluscos existentes, representando aproximadamente el 80% de estos últimos, su notable plasticidad morfológica y variabilidad funcional derivada de las adaptaciones en formas de vida de diferente complejidad en el transcurso de su evolución les permitió convertirse en los moluscos más exitosos (Camacho y Del Rio, 2008).

La fauna acuática es un buen indicador de las condiciones ambientales de un cenote ya que por sus características de aislamiento las especies, particularmente las habitantes de las cavernas sumergidas, han desarrollado adaptaciones específicas para las condiciones en las que viven, pudiendo ser sensibles al deterioro del ecosistema (Medina González, 2016).

De acuerdo con Schmitter-Soto *et al.*, (2002), los cenotes son depresiones naturales en la superficie terrestre que se forman por la disolución de rocas calizas y la erosión del agua subterránea. Estos cuerpos de agua dulce son una fuente importante de recursos naturales y culturales en México, especialmente en la península de Yucatán. La mayoría de estudios biológicos y limnológicos en cenotes,

se han realizado en la Península de Yucatán, debido al elevado número de este tipo de cuerpos de agua en esta zona (Badows *et al.*, 2007). Sin embargo, otros sitios en México con presencia de cenotes son los estados de Quintana Roo (Fragoso Servón *et al.*, 2013), Tamaulipas (González Medrano y Hernández Mejía, 1998) y Chiapas (Mora, 2016).

Los hallazgos en la exploración realizada por Medina González (2016) sugieren una investigación más detallada de las relaciones de los aspectos fisicoquímicos y biológicos en los cenotes y alientan la investigación multidisciplinaria ya que el entendimiento del funcionamiento de estos ecosistemas tiene que ser visto desde una óptica integral que finalmente involucre no solamente los aspectos ecológicos fundamentales sino también las implicaciones que en el aspecto sociocultural conlleva su manejo y conservación.

Debido al aislamiento de los cenotes hacia los mantos acuíferos ha originado el desarrollo de especies endémicas, es decir, que únicamente se distribuyen en ellos. La información acerca de los invertebrados de los cenotes es relativamente pobre, pues casi todos los estudios se basan en crustáceos y el zooplancton. Por ejemplo, se estima que en la península de Yucatán se encuentra alrededor del 40% de especies conocidas de rotíferos, cladóceros y copépodos de México (Schmitter Soto, 2002).

En relación con el sustrato, el tipo de fondo puede tener un impacto significativo en la composición del macrobentos. Los sustratos en los cenotes pueden variar desde zonas fangosas y rocosas hasta áreas con vegetación sumergida, cada uno ofreciendo diferentes tipos de hábitats y condiciones para los organismos bentónicos. La variabilidad del sustrato puede influir en la riqueza, abundancia y dominancia de las especies de macrobentos presentes. Por ejemplo, los organismos que habitan en zonas fangosas pueden adaptarse a condiciones anaeróbicas y encontrar refugio en sedimentos blandos, mientras que aquellos en áreas rocosas podrían depender de las irregularidades del sustrato para su adherencia y alimentación (Sánchez Rueda y Ponce Márquez, 1996). Este tipo de cuerpos de agua son muy raros en el estado de Chiapas, por lo que el conocimiento de la fauna es prioritario para poder comprender la dinámica ecológica de estos

ecosistemas, ya que cuentan con un alto potencial para desarrollar indicadores ambientales.

Actualmente no se encuentran estudios basados en la macrofauna de cenotes en el estado de Chiapas, por esta razón el objetivo del presente trabajo es caracterizar al ensamblaje de gasterópodos bentónicos presentes en el sedimento de diferentes hábitats del cenote de Chucumaltik y sus interacciones con el medio ambiente.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 BENTOS

El bentos lo conforman las comunidades de organismos que viven sobre el fondo de los cuerpos de agua y dentro del sustrato. En zonas muy iluminadas o fóticas, el bentos puede estar dominado por organismos vegetales o por algas, pero en la mayoría de los casos, los organismos dominantes son animales, a pesar de que muchos de ellos presentan similitudes estructurales y fisiológicas con las plantas. Estos animales tienen estrategias muy diferentes: unos viven fijados al fondo, otros son móviles, otros excavan y perforan el sustrato, y otros viven en simbiosis con otros organismos (Sánchez Rueda y Ponce Márquez, 1996).

Las comunidades bentónicas son muy diversas según la naturaleza del sustrato (roca, arena, limo) y la profundidad. En los fondos marinos suele reinar una estabilidad de condiciones muy superior a la propia de las aguas pelágicas, donde se encuentran el plancton y el necton, y que están sometidas a movimientos y cambios incesantes (Lemus *et al.*, 1987).

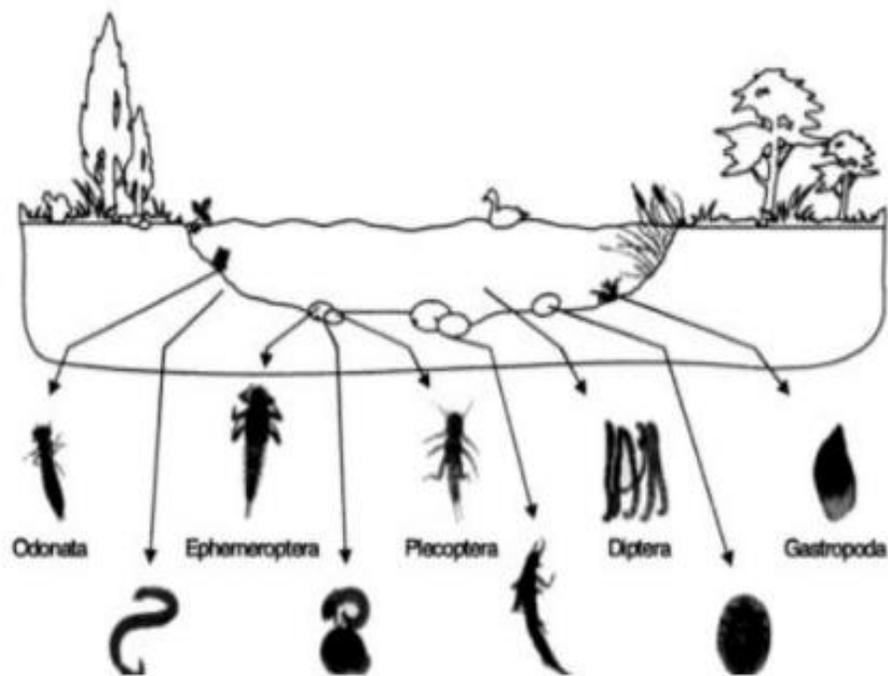


Figura 1. Organismos bentónicos en un ecosistema acuático (Chumpitaz Cárdenas, 2017)

## 2.2 MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS

Los macroinvertebrados son definidos como aquellos invertebrados que se pueden ver a simple vista (tamaño superior a 500  $\mu$ ). Sin embargo, esta distinción puede ser relativa y a veces arbitraria, lo que nos lleva a ser un poco más precisos definiendo los macroinvertebrados con base en la taxonomía. Este grupo tiene representantes en muchos filos de animales, incluyendo Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha (Ladera Fernández, 2012).

Estos organismos constituyen el grupo dominante en los ríos, pero también se encuentran en la zona litoral y el fondo de lagos y lagunas. En particular, los macroinvertebrados que habitan en los ecosistemas fluviales están ampliamente representados por diferentes familias de moluscos (Merino *et al.*, 2020).

Estos organismos tienen un papel importante dentro de los procesos ecológicos en sistemas acuáticos, principalmente ya que sirven como el enlace principal para la transferencia de energía proveniente del material autóctono producido por las algas, llevándolo a diversos niveles tróficos en las cadenas alimenticias acuáticas (Hanson *et al.*, 2010).

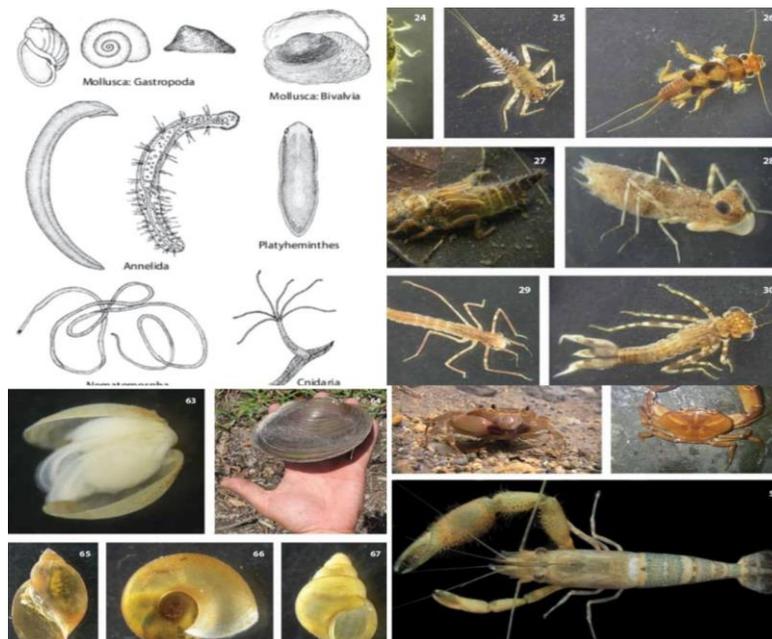


Figura 2. Grupos de macroinvertebrados presentes en ambientes dulceacuícolas (Hanson *et al.*, 2010)

## 2.2.1 Phylum Mollusca

El Phylum Mollusca representa el segundo grupo animal más diverso en cuanto al número de especies descritas, superado sólo por Arthropoda. La riqueza estimada del filo supera las 10 000 especies y se estima que pudieran existir entre 11 000 a 40 000 especies de moluscos aún no descritas para la ciencia (Lydeard *et al.*, 2004).

Baqueiro Cardenas *et al.*, (2004) explican que los moluscos son un grupo megadiverso que en cuanto a número de especies sólo lo sobrepasan los insectos y los nemátodos; sin embargo, en cuanto a la diversidad de hábitos de vida y hábitats que ocupan. Las especies de moluscos se encuentran en los desiertos y en las zonas polares; en los trópicos y en las grandes profundidades oceánicas. No obstante, es en las lagunas litorales tropicales donde alcanzan su máxima diversidad y función; los hay desde consumidores primarios en las redes tróficas, tanto de herbívoros como de detritívoros, hasta depredadores de segundo nivel y parásitos especializados.

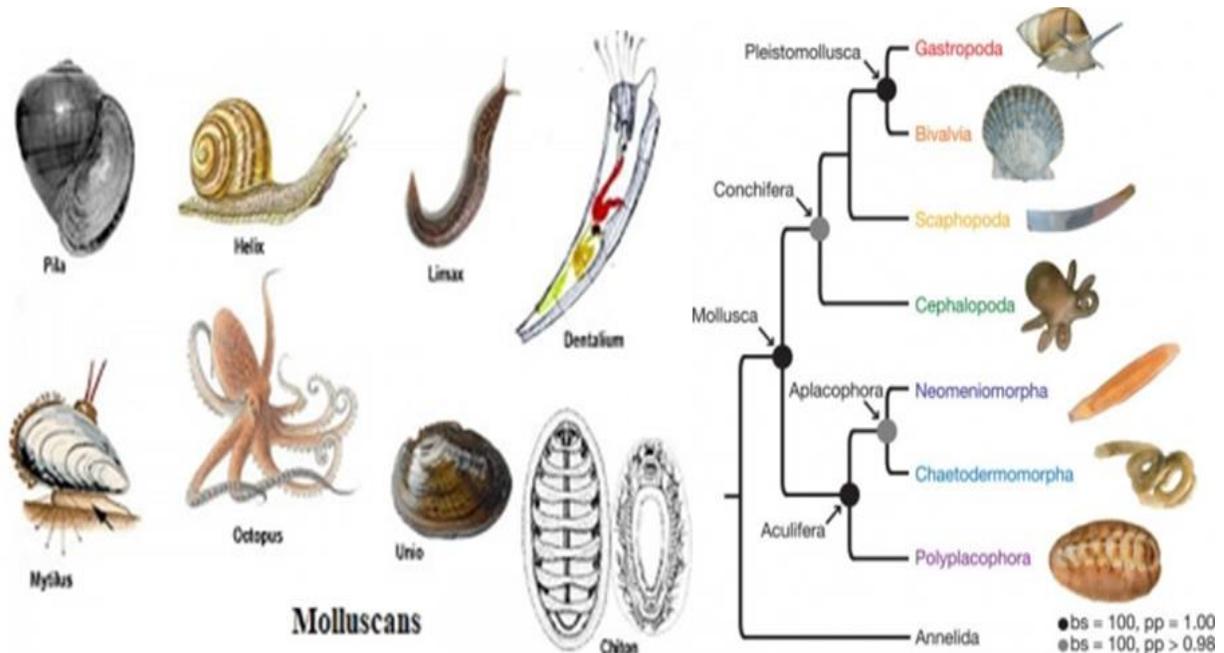


Figura 3. Esquematación de las clases pertenecientes al filo Mollusca. Recuperado de <http://seashells.ir/classification-of-phylum-mollusca/>

### 2.2.2 Clase Gastrópoda

Comúnmente llamados caracoles, son uno de los grupos más diversos de invertebrados dulceacuícolas (teniendo alrededor de 659 especies solo en Norteamérica) y encontrándose ciertamente entre los más fácilmente reconocidos (Thorp y Covich, 2001). Los gasterópodos tienen una concha univalva en espiral, son celomados de cuerpo blando y no segmentado, con un cuerpo blando compuesto por un pie muscular que les permite moverse libremente, una región cefálica diferenciada y una masa visceral, poseen una rádula en forma de lima que se utiliza para alimentarse de las cubiertas del perifiton de rocas o plantas (Thorp y Covich, 2001; Brown, 2010).

Los gasterópodos son una de las dos clases de moluscos que han desarrollado especies de agua dulce. De las 476 familias de gasterópodos reconocidas (Bouchet *et al.*, 2017), 34 están compuestas por especies que viven exclusivamente en ambientes dulceacuícolas (Strong *et al.*, 2008). A pesar de la gran variedad de hábitos, estos moluscos se alimentan principalmente de algas unicelulares (perifiton) y bacterias adheridas a los sustratos, aunque algunos, como los de la familia Ampulariidae que son macroherbívoros.

Los gasterópodos varían en tamaño, desde 2 hasta 70 mm, y se dividen en dos grupos principales: los prosobranquios (Neritomorpha y Caenogastropoda), que son generalmente grandes, con conchas gruesas y branquias, y requieren aguas con propiedades físico-químicas específicas, y los caracoles pulmonados (Heterobranchia), que suelen tener conchas más pequeñas y delgadas, y cuya cavidad de manto actúa como un pulmón para respirar aire, lo que les permite tolerar diversas condiciones ambientales. Algunos miembros de este último grupo, como la tribu Ancylini (“lapas”), tienen una concha en forma de copa en lugar de una espiral (Hanson *et al.*, 2010).

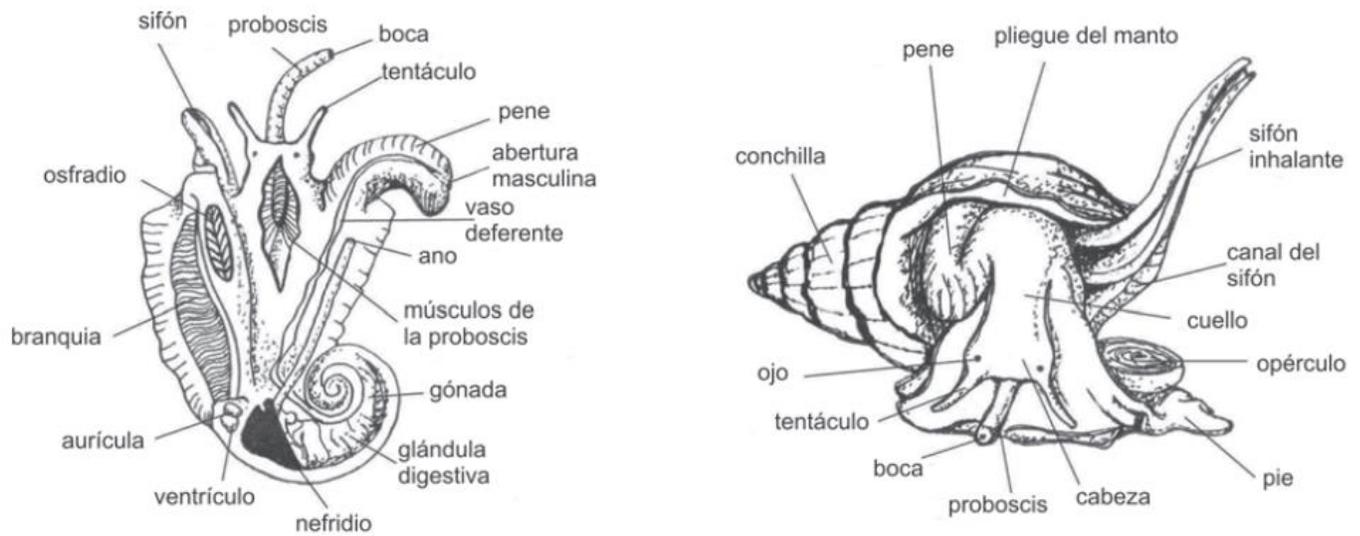


Figura 4. Anatomía general de los gasterópodos (Camacho y del Río, 2008)

## 2.3 CENOTES

Los cenotes (del maya Yucateco *dzoonot*), son pozos naturales profundos, o sumideros, que resultan del colapso de una parte del techo de los túneles de disolución en un lecho de roca caliza o dolina, que exponen el agua subterránea debajo (Hubp, 1999). Los cenotes son un recurso único en tierra seca, particularmente asociado con la Península de Yucatán y algunas islas caribeñas cercanas. Eran una fuente de agua para los antiguos mayas, quienes los usaban para ofrendas de sacrificio. En épocas de descenso del nivel del mar y clima más seco, como preveleía en el Pleistoceno terminal, eran fuentes escasas de agua dulce para personas y animales (Arroyo Cabrales *et al.*, 2015).

Estos cuerpos geográficos se encuentran principalmente en la Península de Yucatán en México, aunque también hay en otras partes del mundo como Cuba, Guatemala y las Bahamas (González de Zayas *et al.*, 2020; Mejía Ortiz *et al.*, 2021; Whitaker *et al.*, 1994).

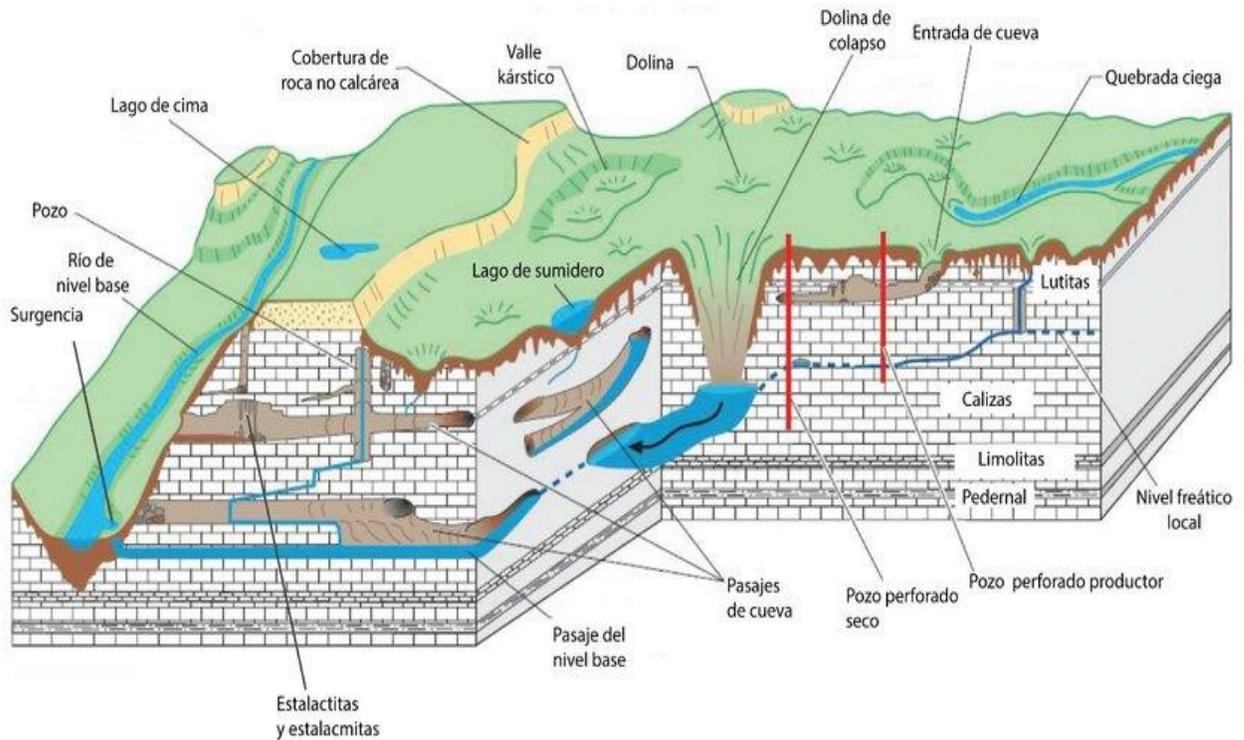


Figura 5. Diagrama esquematizado de paisaje kárstico. Tomado de Tesis de Maestría Obando Amador, (2023). Modificado de Taylor y Greene (2014)

### 2.3.1 Origen

Aproximadamente el 20% del territorio mexicano presenta un relieve kárstico, que se forma principalmente a partir de la disolución de rocas, como la caliza y la dolomita. Este proceso da lugar a características geográficas únicas, como cenotes, ríos subterráneos y diversas cuevas (Field, 2002).

Los cenotes son una manifestación del fenómeno kárstico y se generan a través de un complejo proceso natural. La lluvia, que es ligeramente ácida, se infiltra en el suelo y disuelve gradualmente la roca caliza. Este proceso puede resultar en la creación de cavidades subterráneas que, con el tiempo, pueden colapsar y dar origen a los cenotes. La formación de estos cuerpos de agua también está influenciada por factores internos, como la composición mineral de la roca, su porosidad y las fracturas presentes en ella. A su vez, los factores externos incluyen elementos como el clima, la temperatura ambiental, la vegetación circundante, la interacción entre aguas dulces y saladas, así como el tiempo de exposición de la roca a estos elementos (Beddows *et al.*, 2007).

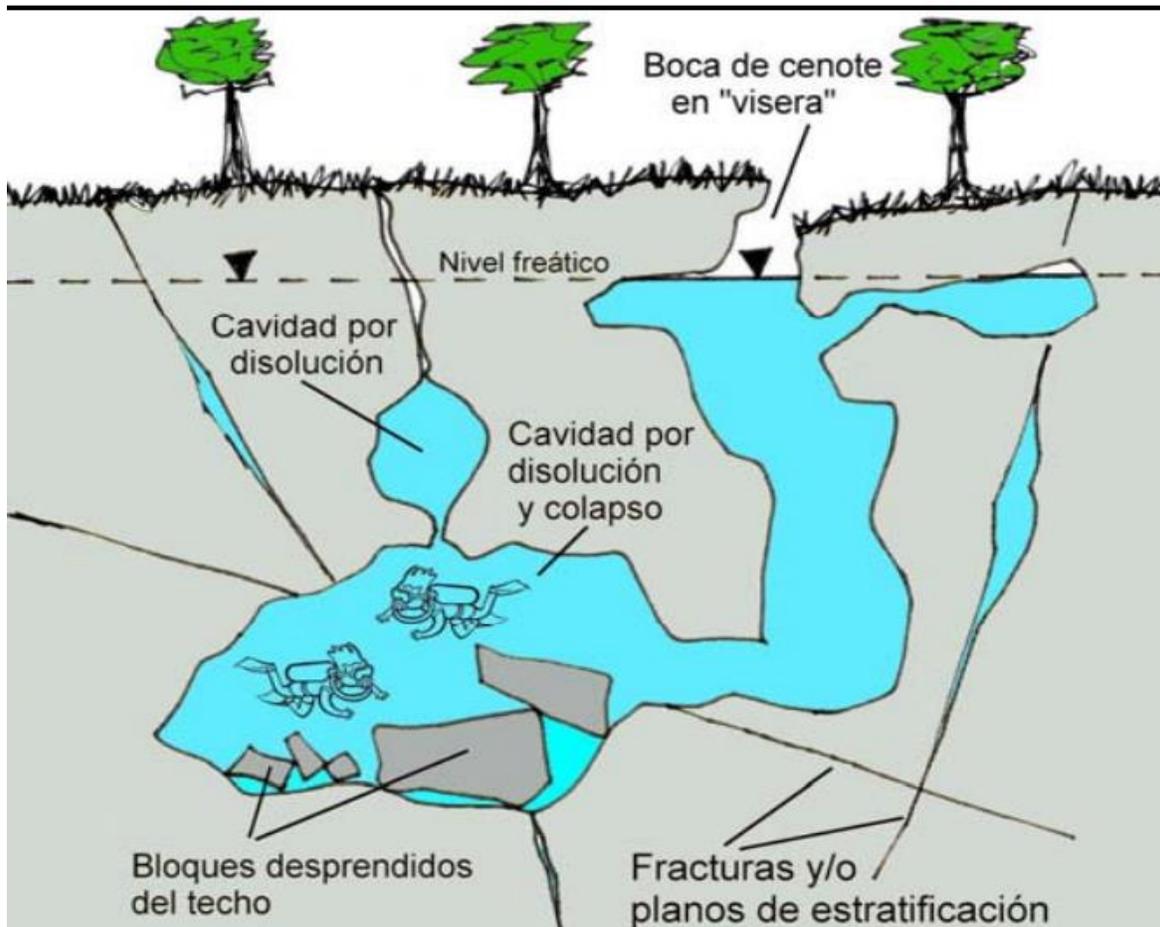


Figura 6. Esquema de morfología de cuerpos de agua “kársticos” o cenotes según su origen; disolución o colapso (Ordoñez Crespo y García Rodríguez, 2010)

### 2.3.2 Importancia

Según Cantón *et al.*, (2019), los cenotes se han utilizado como fuente de agua potable, para la agricultura, la pesca y el turismo. Además, los cenotes tienen un valor cultural significativo para las comunidades locales, ya que se consideran sagrados y se han utilizado en ceremonias religiosas desde tiempos prehispánicos.

Desde un punto de vista ecológico, la vegetación y el fitoplancton representan el nivel de productor primario o autótrofo, organismos que fijan la energía solar y la hacen disponible para los organismos consumidores (heterótrofos), que no tienen la posibilidad de sintetizar sus propios alimentos. Desde este punto de vista (de la producción) los cenotes exhiben diversas condiciones, desde los oligotróficos, aguas transparentes, con poco alimento y poco productivos; hasta los eutróficos,

aguas verdes, con mucho alimento y alta producción); y los distróficos, cuerpos de agua con color café por la gran cantidad de materiales disueltos (Medina González, 2016).

La microdiversidad en los cenotes ha sido poco estudiada, siendo el fitoplancton y el grupo de los protistas los organismos más representativos, y la mayor parte de estudios se han llevado a cabo en la Península de Yucatán (Díaz-Hernández *et al.*, 2023).

## **2.4 ESTUDIOS ECOLÓGICOS**

En ecología se utilizan algunos valores que ayudan a comprender el comportamiento de las comunidades con el entorno. La dominancia indica la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie. La diversidad expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra; mide el grado promedio de la incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar en una colección. La equitatividad mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad (Valdez *et al.*, 2018).

### **2.4.1 Estudios ecológicos en gasterópodos**

Los índices bióticos se basan en la aplicación de gasterópodos específicamente, y de manera general en la utilización de macroinvertebrados, lo cual dará una respuesta rápida al entorno ambiental. Dichos índices se basan en valores de tolerancia y sensibilidad de la comunidad de gasterópodos bentónicos a la contaminación u otros factores que alteren el medio; actualmente estas aplicaciones representan registros valiosos para la determinación del estado ecológico y la integridad biótica de los cuerpos de agua dulceacuícolas (Chumpitaz Cárdenas, 2017).

Ecológica y evolutivamente son organismos exitosos debido a la amplia diversidad de estrategias de historias de vida que presentan, entre las que se

cuentan la reproducción partenogenética, el hermafroditismo y la auto-fertilización, lo que los hace dispersarse a lo largo de un gradiente de heterogeneidad de hábitats. De hecho, este grupo ha colonizado todos los ecosistemas acuáticos (lóticos y lénticos), sean estos permanentes o temporales, pequeños (lagunas o quebradas) o grandes (lagos y ríos), naturales o hechos por el hombre, tales como represas, estanques y canales de irrigación, entre otros (Grillet *et al.*, 2016).

## **2.5 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN SUBACUÁTICAS**

Blacio Game (2009) define al buceo como la acción por la cual se ingresa a un cuerpo de agua con el fin de realizar una actividad deportiva, comercial, de investigación, clasificándolo como buceo autónomo y buceo no autónomo. El buceo autónomo se define como aquel en el que el buzo se desplaza libremente en el agua sin tener alguna conexión con la superficie, se logra mediante la utilización de equipo especializado.

El equipo básico necesario para practicar el buceo SCUBA (Self Contained Underwater Breathing Apparatus) incluye un tanque de buceo (80 ft<sup>3</sup>), un regulador, un chaleco compensador y una computadora de buceo tipo reloj. El regulador es un dispositivo que se conecta al tanque y tiene una boquilla por la que se respira el aire. El chaleco compensador es necesario para mantener al buzo flotando en la superficie y adquirir la flotabilidad neutra bajo el agua. La computadora de buceo indica cuánto tiempo se puede permanecer en el fondo y otros datos importantes como profundidad, velocidad de ascenso y la parada de seguridad.

El buceo científico se define como el uso de técnicas de buceo para llevar a cabo el trabajo subacuático en la búsqueda directa de información, colecta de datos y muestras. Generalmente, un buzo científico es un científico profesional o científico en entrenamiento (estudiante), que utiliza equipos y técnicas de buceo como herramienta para llevar a cabo trabajo de campo. (Sánchez *et al.*, 2023)

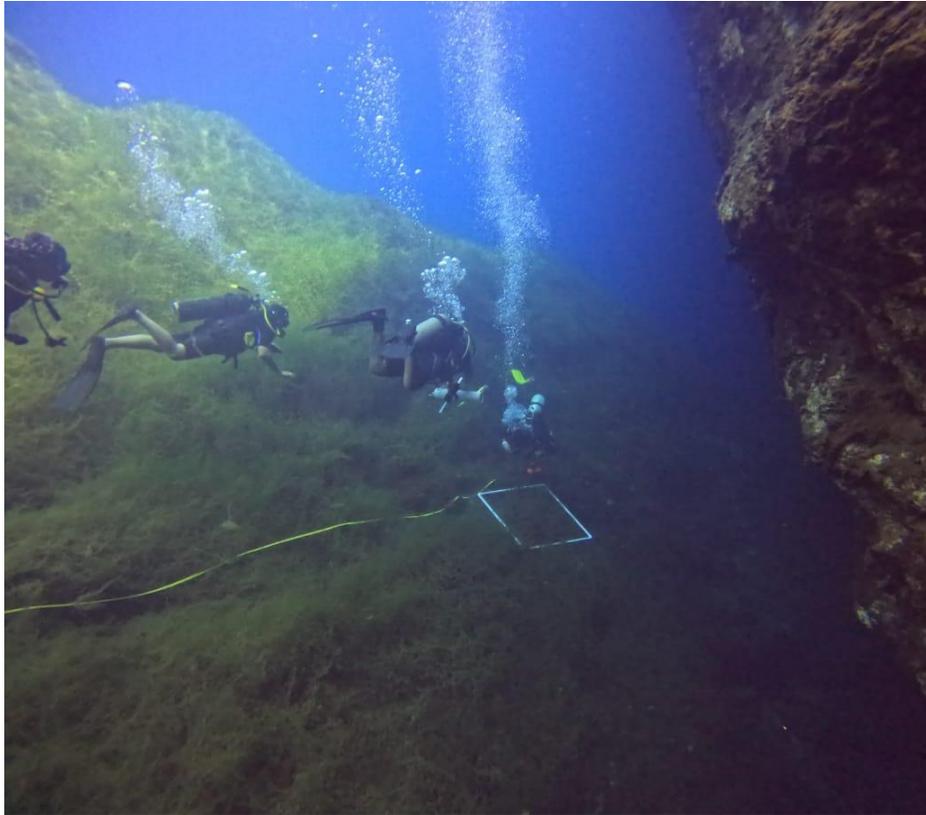


Figura 7. Buzos aplicando técnicas de prospección y obtención de datos y material biológico.

### **2.5.1 Aplicación de técnicas de investigación subacuáticas en el estudio del bentos**

La conservación de la biodiversidad acuática y la asociación de servicios ecosistémicos a través de la gestión de ecosistemas requieren de una amplia visión para poder evaluar los componentes a grandes escalas espaciales. En este rubro, la biodiversidad abarca principalmente especies de peces y macroinvertebrados, así como sus respectivas comunidades y hábitats. Esta diversidad biológica es rara vez observada y evaluada, principalmente debido a limitantes biológicos tales como el no poder permanecer más de 3 minutos bajo el agua, así como a los costos en ocasiones elevados para su observación. Las principales técnicas para el estudio y monitoreo biológico son: extractivas (pesca), basadas en acústica subacuática o mediante censos visuales subacuáticos, generalmente mediante snorkeling o con la utilización de equipo SCUBA (Mallet y Pelletier, 2014).



Figura 8. Buzos realizando la recolección de material biológico

### III. ANTECEDENTES

A lo largo del mundo y en México, se han llevado a cabo estudios sobre macroinvertebrados en ambientes kársticos, siendo escasos específicamente en cenotes, principalmente por el difícil acceso. Algunos de los trabajos y sus resultados más relevantes, a nivel mundial son:

En un estudio realizado por Rodríguez (2002), se analizó la fauna de oligoquetos acuáticos de la isla de Coiba en Panamá y Cuba, identificando 15 taxones en dos colecciones del Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN, Madrid) y Cuba (Dra. Ana Camacho). Se proporcionaron notas morfológicas y sistemáticas para especies como *Limnodrilus variesetosus*, *Pristina aequiseta formas evelinae* y *foreli*, *P. breviseta*, *P. osborni* y *P. sima*.

Cohuo *et al.*, (2017) definió que los ostrácodos de agua dulce de la región Neotropical-Caribe son herramientas potencialmente excelentes para estudios evolutivos y paleoambientales, pero su uso es limitado, porque aún se desconocen los datos integrados en taxonomía, preferencias ambientales y geográficas de las especies a gran escala. Se registraron un total de 118 especies en la región Neotropical-Caribe según la literatura existente y los resultados del trabajo de campo.

Borisov *et al.*, (2021) estudiaron la fauna del agua del arroyo en la cueva inferior de Shakuranskaya en el Cáucaso occidental. Dicha cueva cuenta con un ecotono de entrada de 60 m aproximadamente, lo que la convirtió en un área de interés para el estudio de comunidades bentónicas en un gradiente de factores ambientales. La mayor abundancia la tuvieron moluscos gasterópodos de la familia Hydrobiidae y camarones del género *Xiphocaridinella sp.*; y los principales factores ambientales que determinaron la distribución de bentos fueron la luminosidad y la distancia a la entrada de la cueva.

Entre los estudios hechos a nivel nacional, encontramos los siguientes:

La Península de Yucatán es un ambiente kárstico casi sin flujos permanentes de agua superficial, todos los sistemas lenticos de agua dulce aquí se sustentan en agua subterránea.

En el estudio realizado por Smirnov y Gutiérrez (2011) se analizaron sedimentos, obtenidos con una draga Eckman, de 25 tipos diferentes de cuerpos de agua (dolinas o cenotes, lagunas y humedales), para investigar sus características biológicas de los cenotes. Todos los sistemas mostraron diferencias en sus zoocenosis, siendo los ostrácodos el grupo dominante en la mayoría. Los cladóceros fueron escasos en los sedimentos, representados por sólo ocho géneros, de acuerdo con los autores esto puede estar parcialmente relacionado con la casi ausencia de una zona litoral en los cenotes, debido a las paredes verticales, y la falta de vegetación sumergida. A pesar de su importancia, se ha trabajado relativamente poco con los ostrácodos de esta región del mundo.

Charqueño-Celis *et al.*, (2019) analizaron amebas testadas (*Amoebozoa: Arcellinidae*) en lagos de la Selva Lacandona, una de las zonas con mayor biodiversidad del sur de México. Recolectaron 17 muestras de sedimentos superficiales de una variedad de profundidades de agua en seis lagos de la Reserva de la Biosfera Naha-Metzabok, al noreste del estado de Chiapas. Identificaron 15 taxones de amebas testadas distribuidos en siete géneros. La distribución de taxones en las muestras estuvo relacionada con la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua medida cerca de la superficie del sedimento. *Arcella discoidea* y *Centropyxis aculeata* fueron las más tolerantes a bajas concentraciones de oxígeno, mientras que los otros taxones requieren niveles más altos de OD.

Según Grego *et al.*, (2019), las investigaciones espeleológicas de varios cenotes en la región oriental del estado de Yucatán, México, durante enero de 2018 arrojaron, entre otros invertebrados, dos nuevas especies de gasterópodos truncateloides aquí descritas como *Mexicenotica xochii* y *Pyrgophorus thompsoni*. Ambas especies representan el primer registro de especies de gasterópodos

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

La Península de Yucatán es una región kárstica, rica en ambientes subterráneos con una diversa fauna de crustáceos estigobiontes. Para obtener información sobre la evolución biológica de los ambientes subterráneos de esta región, evaluaron la composición de especies de ostrácodos de cuevas y cenotes en cinco campañas de muestreo independientes (2008, 2013, 2017-2019) realizadas por Macario González *et al.*, (2021). La fauna observada está compuesta por 20 especies (epígeas), presentando una falta de estigobiontes estrictos. Los análisis morfométricos discriminaron hasta tres morfotipos en cada una de las tres especies más abundantes: *Cytheridella ilosvayi*, *Alicenula sp.* y *Cypridopsis vidua*.

En un estudio realizado por Dorottya Angyal *et al.*, (2022), se analizaron los ensamblajes de especies bentónicas en el cenote X-Batún, un cenote tipo caverna ubicado en el poblado de San Antonio Mulix, Yucatán, México. Usando técnicas de buceo espeleológico se recolectaron muestras de sedimento en cuatro zonas del sistema, extrajeron y clasificaron individualmente especies de los bentos en tres réplicas de sedimento húmedo por cada sitio. La composición biológica fue de 15 especies pertenecientes a 8 grupos taxonómicos mayores. La prueba ANOSIM reveló diferencias significativas entre los ensamblajes, revelando que la zona más profunda del cenote, caracterizada por tener total oscuridad, mostro la mayor diversidad y abundancia de las clases Ostrácoda y Gastropoda y su ausencia en las zonas más superficiales.

Díaz-Rodríguez *et al.*, (2023) se encargaron de recolectar microorganismos de cenotes urbanos en la ciudad de Cancún, Quintana Roo, para identificar el fitoplancton y los protistas presentes. Utilizando una red de plancton y mediante un microscopio óptico lograron calcular abundancia, riqueza e integridad de las muestras, clasificando 6 diferentes filos de 15 familias pertenecientes a 18 géneros. Dichos resultados sirvieron para aumentar la riqueza y la compleja estructura y composición biológica de los cenotes urbanos en Quintana Roo.

## **IV. OBJETIVOS E HIPOTESIS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar a las comunidades de gasterópodos bentónicos presentes en el sedimento en tres hábitats con diferentes tipos de sustrato del cenote de Chucumaltik y sus interacciones con parámetros ambientales.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la variación de la riqueza, composición, abundancia y dominancia de gasterópodos en el sustrato del cenote de Chucumaltik en tres hábitats diferentes
- Determinar la influencia de parámetros ambientales sobre las comunidades de gasterópodos del cenote.

### **4.3 HIPOTESIS**

Se espera encontrar mayor riqueza y abundancia de gasterópodos en el sustrato del hábitat de vegetación debido a que proporciona protección, zona de alimentación y reproducción para dichos organismos.

## V. ZONA DE ESTUDIO

### 5.1 ÁREA DE ESTUDIO

El cenote de Chucumaltik es un cuerpo de agua ubicado en el municipio de Comitán de Domínguez, Chiapas; con coordenadas 6°07'18.90" N, 92°10'08.13" O. Se encuentra a una altitud de 1188 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con aproximadamente 200 m de diámetro y 70 de profundidad, la transparencia del agua permite tener una visibilidad de aproximadamente 40 m, siendo visibles arboles petrificados, un altar de la Virgen de Dolores, yacimientos de cuarzo y una caverna; algunas actividades que pueden realizarse en el cenote son: buceo, senderismo, fotografía, snorkel y natación (Orguera Ruiz, 2021; Cruz López y Tello Moreno 2020.)

Al ser Tzimol el municipio más cercano y presentar vegetación distribuida en: bosque (16.88%), selva (15.70%), pastizal inducido (7.09%), palmar inducido (1.13%) y vegetación de galería (0.12%); el Cenote de Chucumaltik está rodeado por una capa de vegetación tipo selva baja caducifolia. Presenta un rango de temperatura de entre 18°C a 26°C en superficie, y el agua presenta una temperatura constante entre 23°C y 24°C; una precipitación media de 1200 mm; y un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (51.24%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano (29.01%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, menos húmedo (19.75%) (INEGI,2012).



Figura 9. Imagen satelital del Cenote tomada desde Google Earth Pro

## VI. MÉTODOS

El buceo SCUBA es el tipo de buceo autónomo que utilizamos como herramienta en la investigación, que permite permanecer sumergido cierto tiempo límite con plena autonomía de movimiento.

Tabla 1. Herramientas a utilizar durante los muestreos.

Unidad	Material
1	Cuadrante de PVC de 1m x 1m
1	Cinta métrica
5	Par de aletas
5	Visores
5	Neoprenos
5	Chalecos BC
5	Tanques de aire comprimido ()
5	Reguladores
1	GPS
9	Frascos para recolecta de muestra
9	Etiquetas de papel albanene
1	Nucleador
	Tiras de pH

Se llevaron a cabo dos muestreos biológicos subacuáticos en el Cenote de Chucumaltik, Comitán, Chiapas, México (6°07'18.90" N, 92°10'08.13" O), tomando en cuenta las siguientes variables abióticas, esto antes de iniciar con la recolecta de sedimento:

- Transparencia mediante la cinta métrica
- Visibilidad horizontal con ayuda de una cinta métrica
- Profundidad mediante las computadoras.
- pH utilizando tiras de papel tornasol.

Usando técnicas de buceo SCUBA y mediante el método de transecto, dos buzos se encargaron de lanzar un transecto lineal de aproximadamente 15 metros en el que cada 7.5 metros se colocó un cuadrante de PVC de 1x1 m, se recolectó sedimento en tres zonas del cenote clasificados como hábitats con las siguientes abreviaciones y características:

Zona fangosa: ZF

Zona con vegetación sumergida: ZV

Zona rocosa: ZR

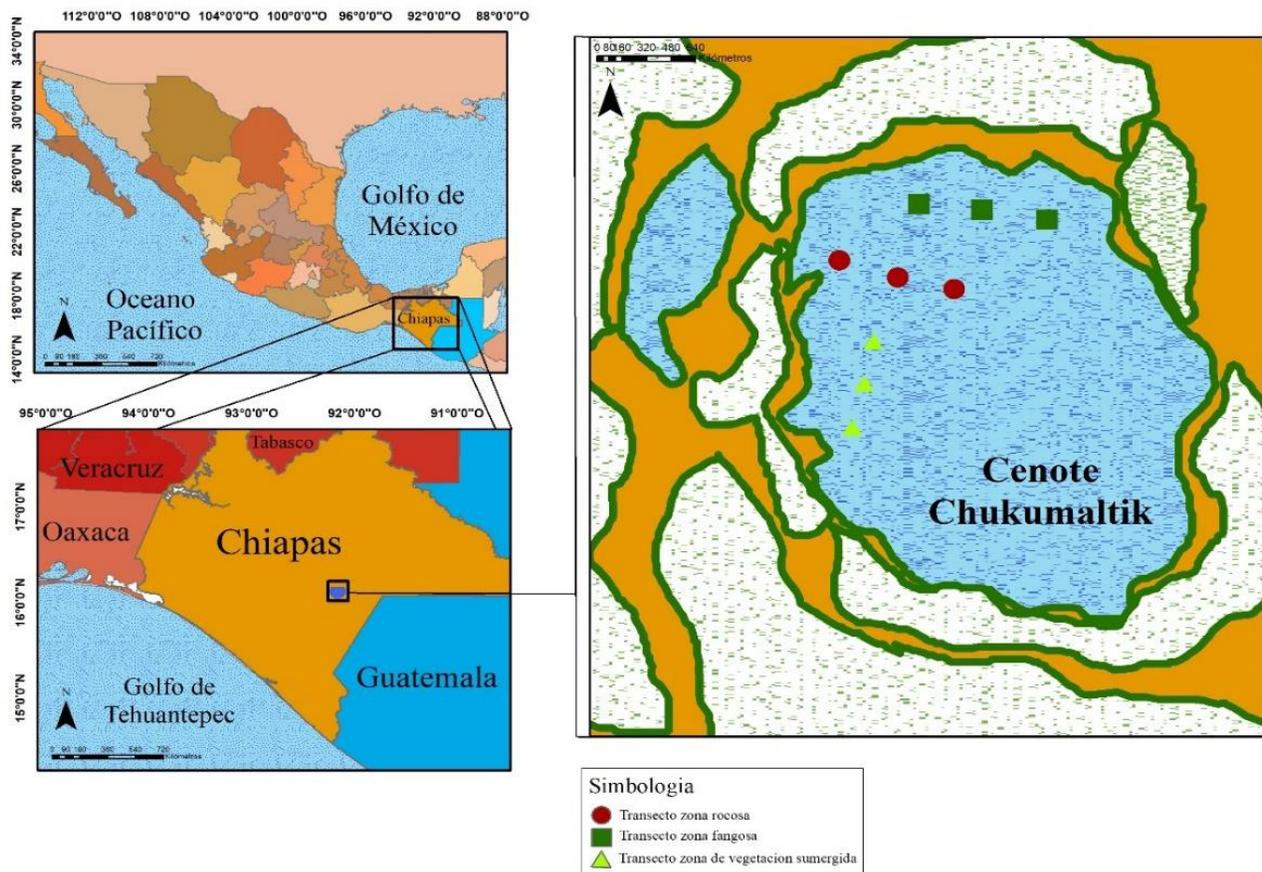


Figura 10. Ubicación geográfica del cenote de Chukumaltik y puntos de muestreo

Dos buzos se encargaron de colocar la cinta métrica con un largo de 15 m en cada uno de los sustratos seleccionados.

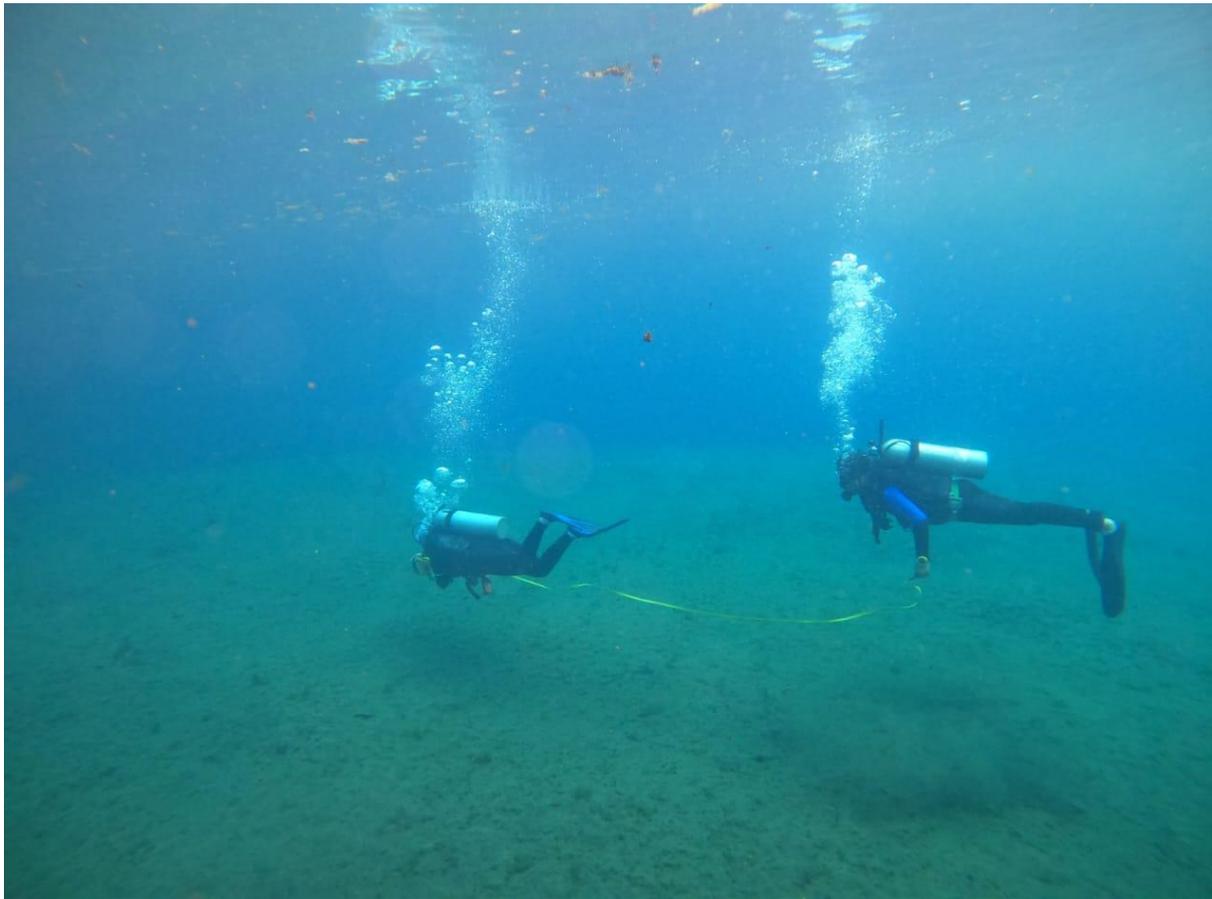


Figura 11. Colocación del transecto

G.E.				G.S.	I.S.	G.E.				G.S.	I.S.	G.E.				G.S.
-				F	01:30	E				J	02:00	H				G
P.				V.A. 15/3		P				V.A. 15/3		P				V.A. 15/3
10 mts				T.A. 1'20"		10 mts				T.A. 1'20"		5 mts				T.A. 1'10"
	L.M.	T.N.R.	T.T.				L.M.	T.N.R.	T.T.				L.M.	T.N.R.	T.T.	
	163 min	0 min	50 min				163 min	45 min	95 min				-	108 min	158 min	
		T.E						T.E						T.E		
		50 min						50 min						50 min		

Figura 12. Greca de planificación para el buceo

En cada uno de los tres diferentes hábitats se estimó un tiempo de inmersión de 50 minutos, los que fueron aprovechados para la obtención de tres muestras de sedimento las cuales se ubicaron mediante cuadrantes de PVC de 1 m<sup>2</sup> dentro del transecto lineal de 15 m y se extrajeron con ayuda de un nucleador (4.5 in de diámetro y 45 cm de largo) para poder así recolectar los macrorganismos presentes en ellos.

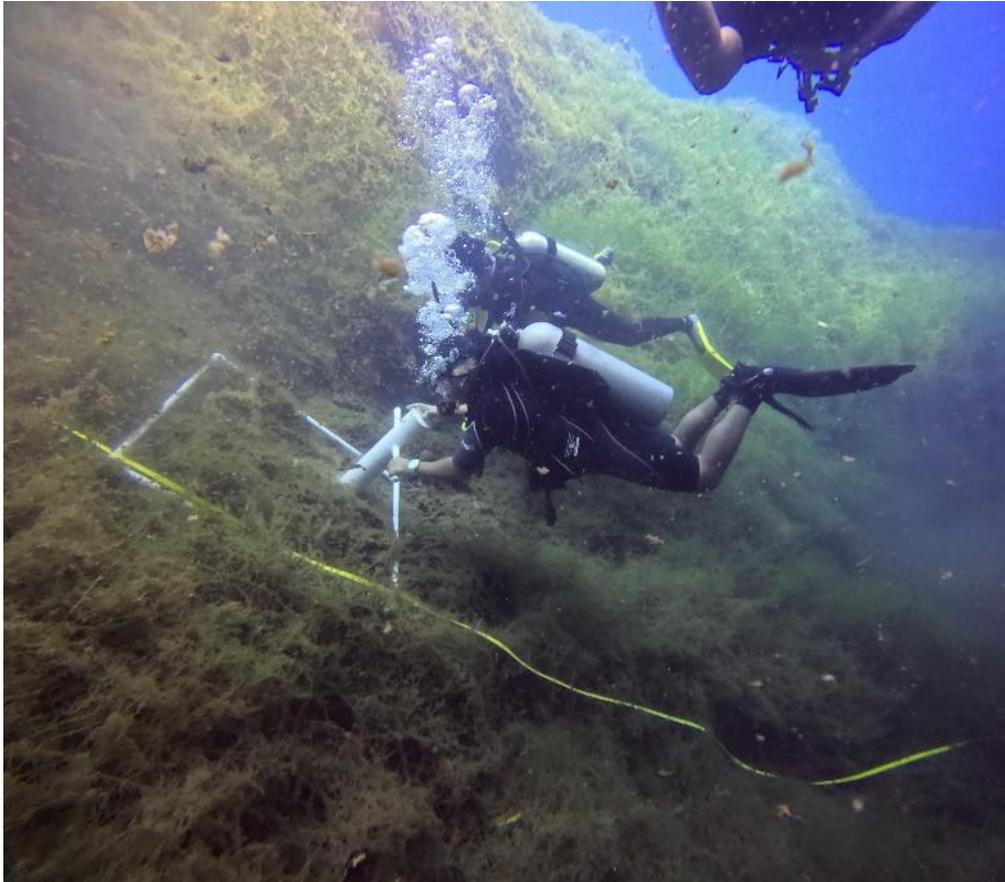


Figura 13. Buzo extrayendo sedimento con ayuda del nucleador

Los organismos recolectados fueron introducidos en bolsas de plástico con una solución de formol al 10% con etiquetas de papel albanene con la información de colecta (fecha, lugar y datos de quien recolectó los organismos) para su transporte al Laboratorio Interdisciplinario de Ecología Costera, en las instalaciones del Centro de Investigaciones Costeras-UNICACH, sede Tonalá.



Figura 14. Recolección de muestras.

## 6.2 TABAJO DE LABORATORIO

Las muestras pasaron por un periodo de 3 días con formol para asegurar su correcta conservación, posterior a eso se procedió a enjuagar con agua corriente hasta quitar restos de formol y se procedió a pasarlas a alcohol al 70% para fijarlas. Mediante guías de identificación (Vásquez *et al.*, 2010; Pennak, 1987) se identificaron hasta la categoría taxonómica más fina posible con el fin de generar un listado taxonómico del lugar.

## 6.3 ANÁLISIS DE DATOS

### 6.3.1 Dominancia

Índice de Simpson (D) se trata de un índice probabilístico cuyo resultado oscila siempre entre el 0 y el 1, con el 0 representando homogeneidad total, y el 1, diversidad perfecta. Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie (Vargas Molina, 2020; Moreno, 2001) mediante la fórmula:

$$D' = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

D= Índice de Simpson

n= número total de organismos de una especie

N= número total de organismos de todas las especies

### 6.3.2 Diversidad

El Índice de Shannon-Wiener (H') refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa, es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (Pla, 2006) mediante la siguiente formula:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

H'= índice de diversidad de Shannon-Wiener.

$\Sigma$ = Sumatoria

P<sub>i</sub>= Proporción de individuos hallados en la especie con respecto al total de individuos; se calcula mediante la relación  $n_i/N$

n<sub>i</sub>= Número de individuos o cobertura de la especie

N= Suma del número total de individuos o de las coberturas de todas las especies

ln= Logaritmo natural

### 6.3.3 Equitatividad

Índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ) varía entre 0 y 1, donde un valor cercano a 1 indica una distribución equitativa de las especies en la comunidad, y un valor cercano a 0 indica que una especie es dominante y las demás son muy escasas, siguiendo la fórmula:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

$H'$  = índice de Shannon-Wiener.

$H'_{max}$  =  $\ln(S)$

$\ln$  = Logaritmo natural

$S$  = Número de especies

## **6.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se aplicaron pruebas de análisis de varianza de una vía (ANOVA) con corrección de Welch para determinar diferencias de abundancia y dominancia de gasterópodos entre los hábitats muestreados, después de verificar los supuestos de normalidad (prueba de Levene).

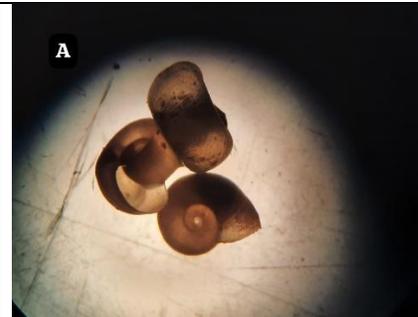
Se obtuvo una clasificación y ordenación de los sitios muestreados por hábitat, mediante diagramas de escalamiento multidimensional no paramétrico (NMDS) y clúster (UPGMA) sobre matrices de Bray-Curtis. Para explorar la relación entre la riqueza, abundancia y dominancia de gasterópodos y los parámetros fisicoquímicos del cenote, se aplicaron pruebas de correlación de Spearman. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa PAST v. 4 (Hammer *et al.*, 2001).

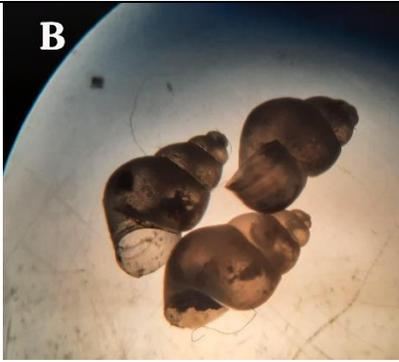
## VII. RESULTADOS

### 7.1. RIQUEZA Y COMPOSICIÓN TAXONÓMICA

En este estudio se encontró que la comunidad de gasterópodos está compuesta por tres taxones: Planorbidae, Hydrobiidae y Physidae. Las características de cada taxón se presentan en la tabla 2. Los tres taxones se encontraron en los tres hábitats analizados, presentando variaciones en su abundancia.

Tabla 2. Fichas con los taxones presentes en el cenote Chucumaltik (A: Planorbidae; B: Hydrobiidae; C: Physidae).

	<p>Reino: Animalia Filo: Mollusca Clase: Gastropoda Familia: Planorbidae</p> <p>Se trata de una familia de caracoles de agua dulce de la subclase Pulmonata (estos caracoles, aunque acuáticos, respiran pulmonarmente, a falta de branquias hay un gran saco pulmonar para el intercambio gaseoso). Los caracoles de la familia Planorbidae están enrollados en un plano, es decir, son planos, característica de la que se deriva el nombre. Habitan ambientes muy variados, lóticos y lénticos. Sin embargo, los rápidos y cascadas son poco favorables para el desarrollo de poblaciones de planórbidos (Cuezzo, 2009)</p>
--	--



Reino: Animalia

Filo: Mollusca

Clase: Gastropoda

Familia: Hydrobiidae

La familia de los gasterópodos Hydrobiidae agrupa especies de tamaño mediano a pequeño, con operculum y que habitan una gran variedad de cuerpos de agua desde arroyos calmos, lagunas, hasta ríos con fuertes corrientes. Para su identificación a nivel de especie, son cruciales la forma de la rádula y los órganos reproductores, tanto femeninos como masculinos. La concha es una característica secundaria en la clasificación taxonómica de esta familia, ya que presenta una considerable variabilidad y polimorfismo. Esta familia incluye cerca de 200 géneros y alrededor de 1000 especies, en las que conchas idénticas pueden corresponder a subfamilias y géneros que no están relacionados entre sí. (Thompson 2004; Cuezco, 2009).



Reino: Animalia

Filo: Mollusca

Clase: Gastropoda

Familia: Physidae

Physidae es una familia de gasterópodos basomatóforos límnicos que comprende, según Te (1980), 48 especies reunidas en dos subfamilias y cuatro géneros: *Physa* (Draparnaud, 1801) y *Physella* (Haldeman, 1842) pertenecen a la subfamilia Physinae; *Aplexa* (Fleming, 1820) y *Stenophysa* (Martens, 1898) subfamilia Aplexinae.

	<p>La distribución de la familia Physidae comprende todos los continentes a excepción del Antártico. Los géneros <i>Aplexa</i> y <i>Physa</i> presentan una distribución Holártica, <i>Physella</i> principalmente Neártica y <i>Stenophysa</i> Neotropical (Nuñez y Pelichotti, 2003).</p> <p>Ocupan una variedad grande de habitats, desde ríos de montaña correntosos, lagos, lagunas, pequeños arroyos, etc. Son fáciles de coleccionar ya que generalmente se encuentran sobre y debajo piedras y también en vegetación marginal (Cuezzo, 2009)</p>
--	--

## 7.2. AUNDANCIA Y DOMINANCIA

En este estudio se contabilizaron un total de 14,423 organismos. 10,020 corresponden a la familia Planorbidae, 4,389 a la familia Hydrobiidae y 14 a la familia Physidae. El hábitat que presentó un mayor número de organismos fue el hábitat con sustrato fangoso (Planorbidae=4795; Hydrobiidae=2,134; Physidae=6), seguido del hábitat rocoso (Planorbidae=3,555; Hydrobiidae=1,412; Physidae=6) y el hábitat con vegetación (Planorbidae=1670; Hydrobiidae=843; Physidae=2) (tabla 3). De acuerdo a la prueba de ANOVA, no se detectaron diferencias significativas entre las medias de abundancia de los hábitats ( $F=0.5639$ ,  $p=0.6151$ ).

Tabla 3. Abundancia numérica de las familias de gasterópodos bentónicos en cada hábitat del cenote Chucumaltik.

	Roca	Fango	Vegetación	Total
Planorbidae	3555	4795	1670	10020
Hydrobiidae	1412	2134	843	4389
Physidae	6	6	2	14
	4973	6935	2515	14423

Physidae tiene la menor abundancia de las tres familias, con una presencia esporádica y limitada principalmente a los sitios rocosos. Planorbidae es la familia dominante, destacándose por su alta abundancia en todos los sitios muestreados. Hydrobiidae, aunque menos dominante, muestra concentraciones en ciertos sitios (como lo fue el cuadrante 1 del segundo muestreo en el sustrato con fango y el cuadrante dos del segundo muestreo en roca), lo que sugiere que tiene una importancia relativa en contextos específicos (que contextos específicos)

Se obtuvieron abundancias relativas (Figura 15) Physidae tiene una influencia menor en el ensamblaje, siendo un 0.10% del total, comparado con Planorbidae (30.43%) y, en menor medida, con Hydrobiidae (69.47%).

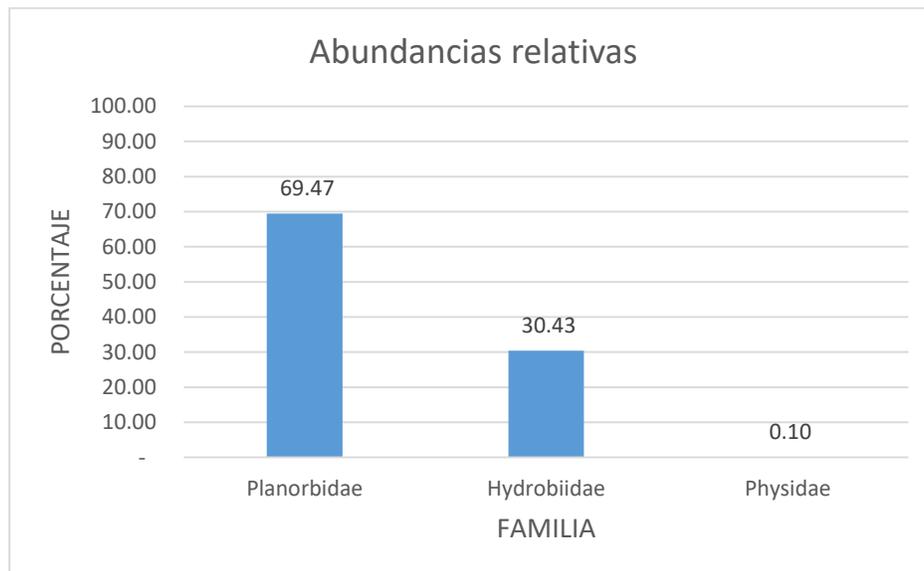


Figura 15. Abundancias relativas de los taxones presentes en el Cenote de Chucumaltik.

De acuerdo a los promedios obtenidos para cada hábitat (tabla 4), en el sustrato rocoso la familia más abundante para los tres cuadrantes fue Planorbidae con notoriedad, presentando 592.5 organismos en promedio con una desviación de estándar de 342.58; seguido por la familia Hydrobiidae (235.33±315.68). Para el sustrato fangoso los promedios aumentan de manera mínima, Planorbidae continúa siendo la familia más abundante (799.17±339.82), seguido de Hydrobiidae (355.67±399.30). El sustrato con presencia de vegetación presenta una disminución de abundancia para todas las familias, Planorbidae (278.33±312.46); Hydrobiidae (140.5±209.36). Para todas las estaciones muestreadas de la familia Physidae presento la menor abundancia, con un valor medio para rocoso (1 ±0.89), fangoso (0.83±0.63) y vegetación sumergida (0.33±0.52) estas no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ).

Tabla 4. Promedio de organismos pertenecientes a 3 familias de acuerdo al tipo de sustrato donde se recolectó con respectiva desviación estándar.

Hábitat/Familia	Planorbidae		Hydrobiidae		Physidae	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Rocoso	592.50	342.58	235.33	315.68	1.00	0.89
Fangoso	799.17	339.82	355.67	399.30	0.83	0.63
Con vegetación	278.33	312.46	140.50	209.36	0.33	0.52

Con respecto al tipo de sustrato se presenta la variación en la dominancia para cada hábitat (Figura 16). Obteniendo la mayor dominancia promedio para el sustrato de rocoso ( $D= 0.7624$ ), a diferencia del sustrato fangoso ( $D= 0.7579$ ); mientras que el sustrato con vegetación presentó la menor dominancia con  $D= 0.717$ .

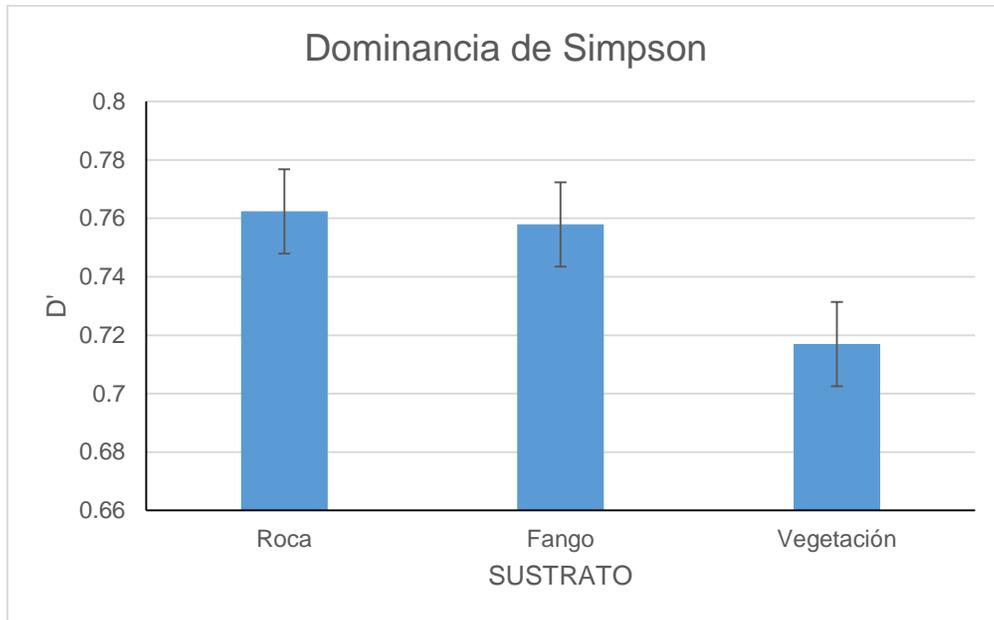


Figura 16. Promedios de las dominancias en los diferentes sustratos (Con barra de error)

### 7.3 DIVERSIDAD

Para medir la diversidad entre los hábitats estudiados se utilizó el Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Figura 17). El hábitat con vegetación resultó ser el que presentó mayor diversidad,  $H'=0.4436$  seguido por el hábitat de fango ( $H'=0.3582$ ) y el hábitat con el sustrato rocoso fue el menos diverso al presentar  $H'=0.3515$ .

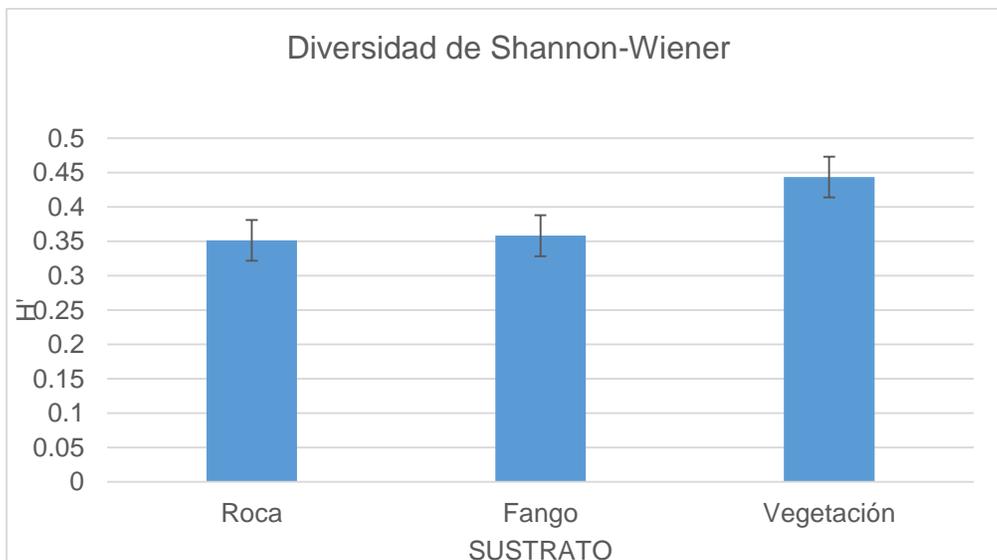


Figura 17. Índice de diversidad específica de Shannon- Wiener

## 7.4 EQUITATIVIDAD

El tipo de sustrato que presentó una mayor equitatividad fue el que contaba con vegetación con un promedio de  $J=0.60335$  (Figura 12) indicando así una composición relativamente más homogénea respectivamente, mientras que el sustrato fangoso presentó el menor porcentaje con  $J=0.3794$ ; el sustrato rocoso contó con un nivel intermedio con  $J=0.4307$ .

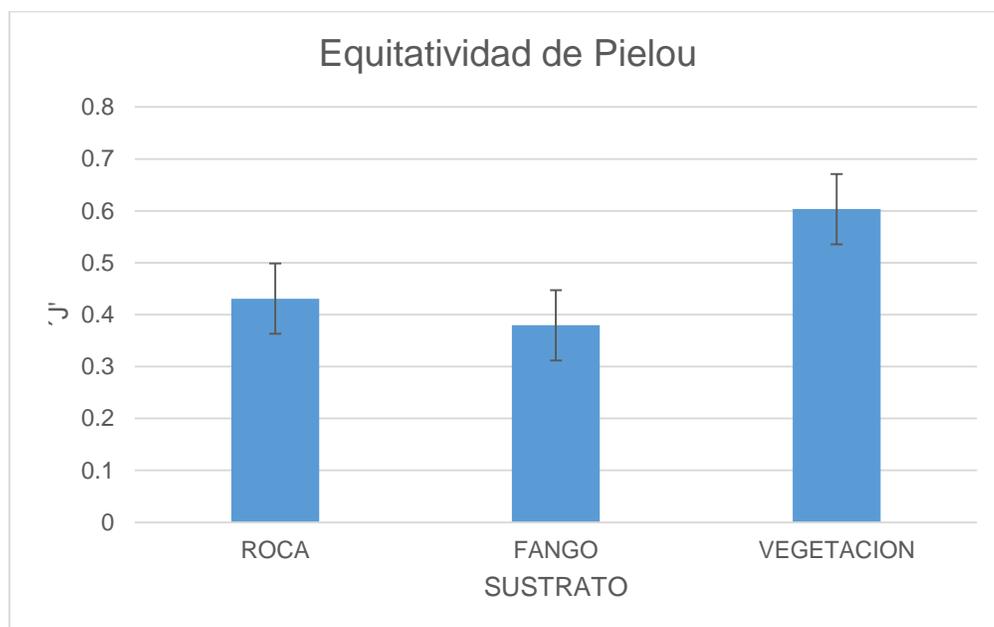


Figura 19. Índice de equitatividad de Pielou con los respectivos tipos de sustrato.

## 7.5 PARAMETROS AMBIENTALES

Los datos de la Tabla 4 reflejan las condiciones ambientales de los tres transectos de muestreo (ZR, ZF y ZV) y sus respectivos cuadrantes. En cuanto a la profundidad, ZR presenta variaciones entre 3 y 6 metros, ZF tiene profundidades entre 3 y 4 metros, mientras que ZV muestra una mayor diversidad, con profundidades que van desde 3 hasta 11 metros. El pH es relativamente constante en todos los cuadrantes de ZR con un valor de 7. En ZF, el pH varía ligeramente entre 7.25 y 7.5, y en ZV, se mantiene constante en 7.5 en todos los cuadrantes. En cuanto a la temperatura, no se observan grandes diferencias, ya que se mantiene

entre 23.75°C y 24°C en todos los cuadrantes. La visibilidad es constante en 20 metros en todos los cuadrantes de las tres áreas, lo que indica condiciones similares en cuanto a visibilidad a través de la columna de agua.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos promedio de los cuadrantes de donde fueron recolectadas las muestras

	ZR	C1	C2	C3	ZF	C1	C2	C3	ZV	C1	C2	C3
Profundidad (m)		3	4	6		3	3.5	4		11	5	3
pH		7	7	7		7.5	7.5	7.25		7.5	7.5	7.5
Temperatura (°C)		23.75	23.75	24		24	23.75	23.75		23.5	23.75	23.75
Visibilidad horizontal (m)		20	20	20		20	20	20		20	20	20

## 7.6 ANÁLISIS DE SIMILITUD

De acuerdo a la gráfica NMDS (Figura 20) se observa la formación de dos grandes grupos ubicados al lado derecho. Sirviendo de referencia las tres familias encontradas se logra observar en torno a la familia Hydrobiidae la agrupación de los cuadrantes: V\_C2\_A (Vegetación Cuadrante 2A), R\_C2\_A (Roca Cuadrante 2A), F\_C2\_A (Fango Cuadrante 2A), F\_C3\_A (Fango Cuadrante 3A) y R\_C3\_A (Roca Cuadrante 3A). Del mismo modo es posible visualizar un grupo más cercano a las familias Physidae y Planorbidae en donde se encuentran los cuadrantes: R\_C2\_N (Roca Cuadrante 2N), V\_C3\_N (Vegetación Cuadrante 3N), F\_C2\_N (Fango Cuadrante 2N), F\_C1\_N (Fango Cuadrante 1N), R\_C2\_N (Roca Cuadrante 1N) y F\_C3\_N (Fango Cuadrante 3N). Se observa una ligera separación de los cuadrantes: R\_C1\_A (Roca Cuadrante 1A), V\_C2\_N (Vegetación Cuadrante 2A), V\_C3\_A (Vegetación Cuadrante 3A) y R\_C1\_N (Vegetación Cuadrante 1N). Se observa también que los cuadrantes: V\_C1\_A (Vegetación Cuadrante 1A) y V\_C1\_N (Vegetación Cuadrante 1N), se encuentran separados en gran medida de los grupos formados, demostrando una singularidad en estos sitios de los demás muestreados.

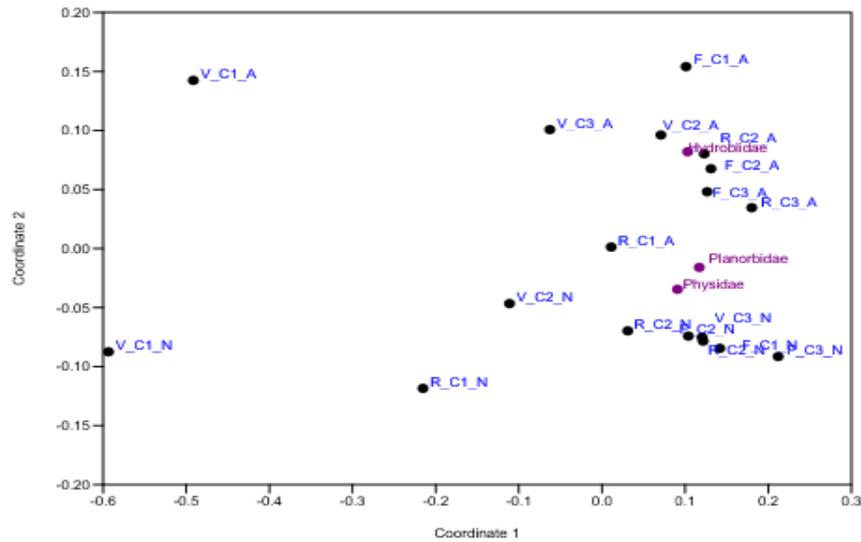


Figura 20. NMDS con la ordenación de cuadrantes de muestreo teniendo en referencia a las familias encontradas dentro del cenote de Chucumaltik.

El análisis clúster clásico visualiza la similitud de grupos de acuerdo a los cuadrantes de muestreo con una correlación cofenética de 0.9303 (Figura 21). A partir de 0.05 se forman dos principales grupos: el primero conforma a los cuadrantes: V\_C1\_A y V\_C1\_N con una similitud de 0.38, mientras que el segundo grupo se divide en dos subgrupos a partir de una similitud de 0.35. El cuadrante V\_C2\_N presenta similitud con R\_C1\_N (0.60), a su vez, ambos presentan una similitud de 0.50 con V\_C3\_A. Los cuadrantes R\_C2\_A y F\_C2\_A presentan un alto nivel de similitud (0.95); a su vez dentro de su subgrupo presentan una similitud de 0.70 con F\_C1\_A (siendo este el cuadrante más alejado en cuanto a similitud). El cuarto subgrupo se forma con un 0.55 de similitud, donde R\_C2\_N y V\_C3\_N presentan una similitud de 0.95, y estos dos cuadrantes presentan una similitud de 0.70 con F\_C3\_N; mientras que en la misma subdivisión R\_C2\_N es similar a R\_C1\_A (0.80).

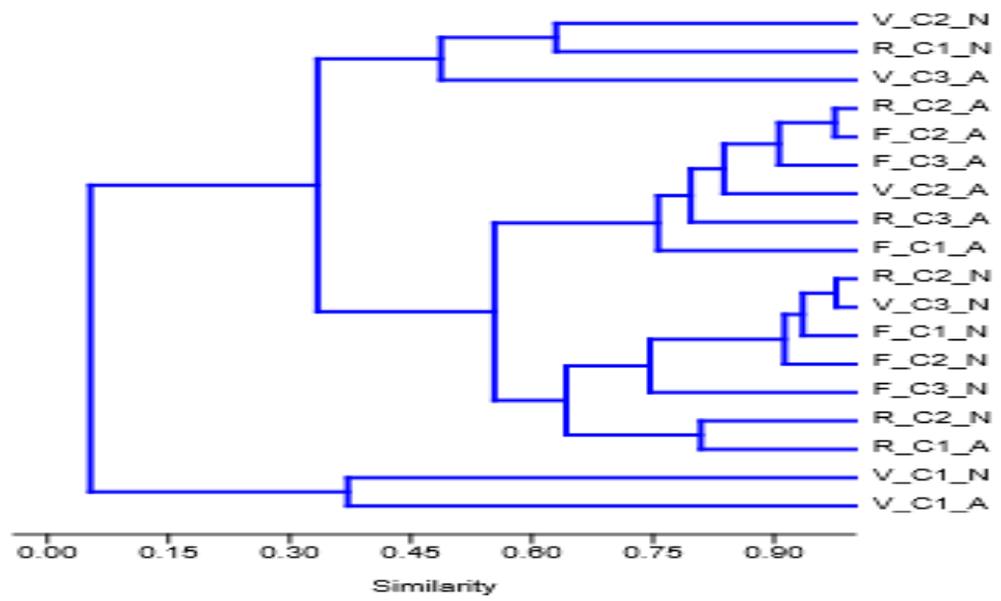


Figura 21. Dendrograma de similitud de acuerdo al tipo de sustrato y numero de cuadrante muestreado.

## VIII. DISCUSIÓN

En este estudio se describió la diversidad del grupo de gasterópodos bentónicos en un cenote de Chiapas, planteando la hipótesis de encontrar mayor riqueza y abundancia de gasterópodos en el hábitat con sustrato de vegetación, debido a los servicios ecológicos que proporciona para este grupo de organismos (Strong *et al.*, 2008). Los resultados mostraron que el hábitat con la mayor abundancia fue el que presentaba el sustrato fangoso. En cuanto a la riqueza, ambos tuvieron la presencia de las mismas tres familias, por lo tanto, la hipótesis planteada se rechaza.

La comunidad de gasterópodos del cenote de Chucumaltik está compuesta por tres familias: Planorbidae, Hydrobiidae y Physidae. Este hallazgo difiere de los resultados obtenidos por Angyal *et al.* (2022) en la península de Yucatán y Borisov *et al.* (2021) en Rusia, quienes identificaron 14 y 42 taxones, respectivamente. Esta discrepancia podría explicarse principalmente por las condiciones ambientales de los sistemas estudiados, y que, en los sitios de investigación de los otros autores, existen canales subterráneos que permiten la entrada de agua marina, lo que genera un ambiente adecuado para la colonización de especies marinas. Además, estos canales favorecen la presencia de especies endémicas en esas áreas, pudiendo esto ser uno de los factores de la alta diversidad de especies.

A pesar de la poca riqueza de taxones presentes en este estudio, la abundancia fue relativamente elevada, ya que se contabilizaron un total de 14,423 organismos. Los resultados difieren significativamente en comparación a otros estudios realizados con macroinvertebrados. Romero Velasco (2024) enumeró un total de 66,263 organismos presentes en raíces de *Rizophora mangle*, mientras que Trinidad Ocaña *et al.* (2018) contabilizaron un total de 234,666 moluscos a lo largo de la cuenca del río Usumacinta. Si bien estas cantidades superan en gran medida a los resultados obtenidos en este estudio, hay que considerar que se basó únicamente en la comunidad de gasterópodos, así como también el que los puntos de muestreo se encontraban relativamente cerca dentro del cenote. Algunos autores afirman que el pH óptimo para la reproducción y crecimiento de los taxones presentes en este estudio es de entre 5.6 y 8.3 (siendo el pH del cenote de entre 7-

7.5), así como son familias adaptadas a vivir en sistemas lenticos y con bajas concentraciones de oxígeno, ambientes perturbados y en cierta manera alcalinos (Pennak, 1978; Thorp y Covich, 2001). El número elevado de organismos presentes tiene concordancia con lo dicho por Albarrán Melzer y Rangel Ruíz (2009), ya que explican como la especie de gasterópodo *Melanoides tuberculata* cuenta con una alta capacidad para colonizar sitios debido a su alta adaptabilidad y su elevada tasa de reproducción. Cadierno (2017) habla sobre *Pomacea canaliculata* que presenta una alta fecundidad, siendo una hembra capaz de depositar de 1 300 a 11 000 huevos a lo largo de su vida en condiciones de laboratorio.

Se considera que el esfuerzo de muestreo fue determinante en los resultados obtenidos. Se realizaron dos muestreos con el objetivo de repetir las mediciones y mejorar la confiabilidad de los datos. Sin embargo, estos muestreos no tomaron en cuenta la variación temporal en las condiciones del entorno, lo que pudo haber influido en la representatividad de las especies observadas en diferentes momentos. Además, la identificación de los taxones se limitó al nivel de familia, lo que impidió un análisis más detallado y afectó la estimación de la riqueza de taxones, a nivel de especie, presentes en el área estudiada.

De acuerdo a la prueba de ANOVA, no se detectaron diferencias significativas entre las medias de abundancia de los hábitats ( $p=0.6151$ ), esto debido a que la estructura de la comunidad siguió un mismo patrón (ver Tabla 3) siendo Planorbidae la familia más abundante en los tres hábitats, seguido de Hydrobiidae y Physidae la de menores abundancias, además de que los sitios de recolecta se encontraron relativamente cerca.

Esto también es reflejado en el índice de Simpson (D), donde a pesar de que los tres hábitats mostraron un alto valor (por encima de  $D=0.7$ ), el sustrato rocoso presentó el mayor valor, siendo Planorbidae el taxón de mayor abundancia. Esta dominancia sugiere que Planorbidae posee una notable capacidad adaptativa para colonizar y prosperar en condiciones diversas, lo que difiere a lo encontrado por Toledo González (2021) quien reporta una mayor riqueza y abundancias de invertebrados en sustratos con presencia de fondos duros debido a la mayor

disponibilidad de recursos y refugio. La prevalencia de Planorbidae en sustratos rocosos, en particular, podría explicarse por su capacidad para adherirse a superficies duras y tolerar condiciones de flujo más intenso, así como por su tolerancia a bajos niveles de oxígeno y altas concentraciones de materia orgánica (Lodge *et al.*, 1987; Brown y Lydeard, 2010).

El hábitat con vegetación presentó la mayor diversidad, con un valor de  $H' = 0.4436$ , seguido por el hábitat de fango ( $H' = 0.3582$ ), mientras que el hábitat con sustrato rocoso mostró la menor diversidad, con un valor de  $H' = 0.3515$ . Estos resultados coinciden con los hallazgos de Trinidad Ocaña *et al.* (2018) en la cuenca del río Usumacinta, donde la mayor diversidad de moluscos se asoció a sitios con vegetación sumergida y sustratos lodosos. En cuanto a la equitatividad, el hábitat con vegetación mostró el valor promedio más alto, indicando una composición más homogénea, mientras que el sustrato fangoso presentó el valor más bajo, y el sustrato rocoso tuvo un valor intermedio. Esto se alinea con los resultados de Toledo González (2021), que observó que los sitios con vegetación (en su caso presencia de mangle) también presentaron los mayores valores de equitatividad. Según Gallardo (2017), las plantas acuáticas proporcionan condiciones óptimas para la alimentación, reproducción, desove y cría de animales, así como refugio frente a depredadores para invertebrados y peces pequeños. Las macrófitas influyen en la distribución espacial y abundancia de los MIA en función de su arreglo y disponibilidad, lo que hace que los hábitats acuáticos con macrófitas sean frecuentemente los más diversos, productivos y heterogéneos en comparación con otros tipos de sustratos (Boggiani, 2012).

El análisis NMDS indica patrones de agrupación en los cuadrantes de muestreo del cenote Chucumaltik en relación con las familias de gasterópodos presentes. Los resultados indican que, aunque los parámetros ambientales no mostraron variaciones significativas entre los cuadrantes (ver Tabla 4), las diferencias en el tipo de sustrato juegan un papel crucial en la distribución de las familias encontradas, como sugieren Gómez *et al.* (2016). Una de las agrupaciones más destacadas se encontró vinculada a la familia Hydrobiidae, con los cuadrantes

asociados a sustratos fangosos y rocosos, que muestran una organización más coherente. Esto sugiere que, dentro del ecosistema de Chucumaltik, los sustratos de fango y roca podrían ofrecer características específicas (como la textura del sustrato o la disponibilidad de nutrientes) que favorecen la presencia de organismos de dicha familia. Por el contrario, el grupo asociado a las familias Physidae y Planorbidae muestra una distribución más dispersa entre cuadrantes que, aunque comparten un rango de características ambientales similares, se encuentran en sitios con variabilidad en el tipo de sustrato se agrupan de manera similar, con formaciones que coinciden en gran parte con las separaciones observadas en el NMDS.

Los resultados en cuanto a la estructura de la comunidad de gasterópodos en el cenote de Chiapas demuestran que, al no existir variaciones en factores fisicoquímicos del agua, es el tipo de sustrato aquel que juega un papel crucial en la distribución y abundancia de las especies. Aunque las diferencias con otros estudios en cuanto a la riqueza y abundancia de taxones pueden explicarse por factores como el esfuerzo de muestreo y las características geográficas, los resultados destacan la importancia que tienen los sustratos blandos en la acumulación de organismos. Sin embargo, también se observa que los hábitats con vegetación presentan una mayor diversidad y una distribución más equilibrada de especies, lo que resalta la complejidad ecológica de estos ambientes.

La familia Planorbidae dominó la comunidad de gasterópodos en el cenote Chucumaltik, lo que se explica por su notable capacidad adaptativa para prosperar en diversos sustratos, especialmente en condiciones de baja oxigenación y alta materia orgánica, como señalan Lodge *et al.* (1987) y Brown y Lydeard (2010). Aunque encuentran condiciones óptimas en hábitats con vegetación (Bonetto *et al.*, 1990), su mayor abundancia en sustratos fangosos y rocosos resalta su versatilidad ecológica, sugiriendo que estos ambientes también ofrecen recursos y refugio adecuados. Por su parte, la familia Hydrobiidae mostró una distribución más asociada a sustratos fangosos y rocosos, coincidiendo con su adaptabilidad a diversos hábitats no marinos, como indican Kabat y Hershler (1993). Su menor

presencia en hábitats con vegetación podría deberse a la competencia con Planorbidae o a una preferencia por sustratos más estables, que proporcionan condiciones físicas y químicas favorables para su desarrollo. En contraste, la familia Physidae fue la menos abundante, con una distribución más uniforme entre los hábitats fangoso, rocoso y con vegetación. Esto refleja su alta adaptabilidad a condiciones extremas, como baja oxigenación y contaminación (Taylor, 2003), pero su baja abundancia sugiere limitaciones en este sistema, ya sea por menor competitividad o por la falta de condiciones específicas que favorezcan su proliferación. Estos patrones resaltan la importancia de las adaptaciones ecológicas y las características del hábitat en la estructura de las comunidades acuáticas.

En cuanto a las condiciones climáticas, aunque este estudio no consideró específicamente los periodos de estiaje y lluvias, se tienen registros sobre los valores de precipitación, siendo de 230 mm en época de lluvias y 20 mm en época seca. Según Rivera Usme y Pinilla Agudelo (2013), las fluctuaciones climáticas pueden alterar el volumen de agua y la disponibilidad de hábitats, afectando la presencia de macroinvertebrados. En su investigación, observaron un mayor número de taxones en abril (16 taxones) y octubre (13 taxones), asociado a los niveles más altos de oxígeno disuelto y una mayor extensión del espejo de agua durante esos meses, lo que mejoró las condiciones físico-químicas del agua. Además, destacaron una alta carga de materia orgánica, cuya degradación consume oxígeno disuelto, especialmente en periodos de escasas lluvias, cuando también se registraron concentraciones elevadas de compuestos nitrogenados y fósforo. Estos hallazgos subrayan la importancia de las variaciones climáticas en la dinámica ecológica de la cuenca.

El haber incluido variaciones temporales probablemente los resultados reflejarían cambios en la abundancia y distribución de los gasterópodos. Durante los periodos de lluvias, la mayor disponibilidad de agua y recursos podría haber incrementado la abundancia de Planorbidae y Hydrobiidae, especialmente en el hábitat fangoso, que registró la mayor cantidad de organismos. Por el contrario, en los periodos secos, la reducción del agua y el aumento de la degradación de materia

orgánica podría haber causado el efecto contrario. Asimismo, la familia Physidae, con solo 14 organismos registrados, podría haber mostrado una respuesta más marcada a estas variaciones, con picos de abundancia en épocas de lluvias y una mayor reducción en sequías. Aunque no se detectaron diferencias significativas entre hábitats, tomar en cuenta variaciones temporales habría permitido identificar patrones estacionales y factores clave, como el oxígeno disuelto y la materia orgánica, que influyen en la dinámica de estas comunidades.

## IX. CONCLUSIONES

- Se identificaron tres familias de gasterópodos dentro del ensamblaje presente en el Cenote de Chucumaltik: Planorbiidae, Hydrobidae y Physidae.
- A pesar de la baja riqueza encontrada, las abundancias son relativamente altas, pues se contabilizaron un total de 14,423, siendo Planorbidae la familia más abundante gracias a su destacada capacidad para adaptarse y prosperar en diferentes tipos de sustratos, particularmente en ambientes con baja oxigenación y alta cantidad de materia orgánica.
- El hábitat fangoso es el que tiene mayor abundancia de gasterópodos, seguido por el rocoso y el de vegetación, sin diferencias significativas entre los hábitats en cuanto a abundancias.
- Se presentó la mayor dominancia en el hábitat con sustrato rocoso, en donde Planorbidae fue significativamente más abundante.
- El hábitat con vegetación resultó ser el más diverso y equitativo de los tres, esto debido a los servicios que proporciona la vegetación sumergida para los gasterópodos, como lo son zonas de refugio, reproducción y alimentación.
- Los análisis de similitud, como el NMDS y el análisis clúster, revelaron agrupaciones de cuadrantes según las familias de gasterópodos presentes. El cuadrante de vegetación, en particular, mostró una mayor singularidad.
- Los parámetros ambientales como la temperatura, el pH y la visibilidad fueron relativamente constantes en los tres hábitats.

## **X. RECOMENDACIONES**

- Implementar muestreos en épocas de lluvia y estiaje para evaluar variaciones temporales en la composición del ensamblaje de gasterópodos.
- Cubrir más áreas del cenote para comprender de una mejor manera la distribución de las familias presentes
- Profundizar en técnicas adicionales para lograr una identificación taxonómica a nivel de especie para lograr una caracterización más precisa de los organismos presentes y tener un mayor entendimiento en las interacciones ecológicas.
- Incluir medición de otros parámetros fisicoquímicos, como oxígeno disuelto, conductividad fosforo y nitrógeno, para así analizar su influencia en la distribución y abundancias de los gasterópodos.
- Realizar estudios de calidad del agua en el cenote, tanto parámetro fisicoquímico con demás macroinvertebrados.

## XI. REFERENCIAS

- Angyal, D., Cohuo, S., Castro Pérez, J. M., Mascaró, M., y Rosas, C. (2022). Benthic species assemblages change through a freshwater cavern-type cenote in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Subterranean Biology* 44: 1–20.
- Arroyo Cabrales, J., Luna, P., Chatters, J. C., Rissolo, D., Arce, R. C., Blank, A. N., y Barba, H. (2015). Underwater archaeology and prehistory: the case of the cenotes in Mexico. *WORLD HERITAGE HEADS* 5, 54.
- Baqueiro-Cárdenas, E. R., Borabe, L., Goldaracena-Islas, C. G., y Rodríguez-Navarro, J. (2007). Los moluscos y la contaminación: una revisión. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78, 1-7.
- Bedows, P., Blanchon P, Escobar E., Torres Talamante O. (2007) Los cenotes de la Península de Yucatán
- Bernal, E., García, D., Novoa M y Pinzón A. (2006) Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia). *Acta Biológica Colombiana* 11: 45-59.
- Boggiani, M. (2012) Efecto de las macrófitas sumergidas *Myriophyllum quitense* y *Potamogeton illinoensis* en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un reservorio somero. Laguna del Diario, Maldonado-Uruguay. Trabajo de grado. Universidad de la República de Uruguay. Facultad de Ciencias. Montevideo, 40 pp.
- Bonetto, A. A., Rumi, A., y Tassara, M. P. (1990). Notas sobre el conocimiento limnológico de los gasterópodos paranenses y sus relaciones tróficas. II Planorbidae, con aspectos distribucionales y sanitarios. *Ecosur*, 69-84.
- Blacio Game (2009). Curso teórico de buceo con equipo scuba.

- Borisov R.R., Chertoprud E.S., Palatov D.M., Novichkova A.A. (2021) Variability in macrozoobenthic assemblages along a gradient of environmental conditions in the stream water of karst caves (Lower Shakuranskaya Cave, western Caucasus). *Subterranean Biology* 39: 107–127. <https://doi.org/10.3897/subtbiol.39.65733>
- Bouchet, P., Rocroi, J. P., Hausdorf, B., Kaim, A., Kano, Y., Nützel, A., y Strong, E. E. (2017). Revised classification, nomenclator and typification of gastropod and monoplacophoran families. *Malacologia*, 61(1-2), 1-526.
- Brown, KM y Lydeard, C. (2010). Moluscos: gasterópodos. En *Ecología y clasificación de invertebrados de agua dulce de América del Norte* (págs. 277-306). Prensa académica.
- Cadierno, M. P. (2017). Estrategias reproductivas de moluscos gasterópodos. Caracterización bioquímica y toxicidad de la glándula del albumen de *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae). (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de La Plata. Argentina
- Camacho, H. H. (2008). Mollusca. En: Camacho, H. (Ed). Los invertebrados fósiles. Vazquez Mazzini. Buenos Aires, Argentina. Pp. 293-322.
- Camacho, H. H y Del Rio C. J. 2008. Gastropoda. En: Camacho, H. (Ed.). Los invertebrados fósiles. Vázquez Mazzini. Buenos Aires, Argentina. Pp. 323-376
- Cantón, Y., Hernández-Mendiola, E., y Sánchez-Montes de Oca, R. (2019). Cenotes: A natural and cultural heritage of Mexico. *Journal of Coastal Research*, 86(sp1), 1-6.
- Calderón Gutiérrez, F. C. (2013). *Riqueza taxonómica y línea base ecológica de los macroinvertebrados bentónicos troglobiontes del sistema cavernícola anquialino*

"El Aerolito", Isla Cozumel, Quintana Roo, México (Tesis de Licenciatura)  
Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Charqueño Celis, N. F. (2014). "Diversidad y abundancia de los invertebrados macrobentónicos del sistema "Aerolito de Paraíso", Cozumel, Quintana Roo". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/209328>

Charqueño-Celis N. F., Garibay M., Sigala I., Brenner M., Echeverría Galindo P., Lozano S., Massaferro J., Pérez L. (2019) Testate amoebae (Amoebozoa: Arcellinidae) as indicators of dissolved oxygen concentration and water depth in lakes of the Lacandón Forest, southern Mexico. *Journal of Limnology* 79(1): 1–10. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2019.1936>

Chumpitaz Cárdenas, B. M. (2017). Aplicar Los Índices Bióticos Mediante La Identificación De Los Macroinvertebrados A Nivel Bentos En La Cuenca Baja Del Río Lurín.

Cohuo S., Macario González L., Pérez L., Sylvestre F., Paillés C., Jason H., Kutterolf S., Wojewódka M., Zawisza E., Szeroczynska K., Schwalb A. (2017) Overview of Neotropical-Caribbean freshwater ostracode fauna (Crustacea, Ostracoda): identifying areas of endemism and assessing biogeographical affinities. *Hydrobiologia* 786: 5–21. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2747-1>

Crespo I. O., y Rodríguez M. G. (2010). Formas kársticas comunes de los cenotes del Estado de Quintana Roo (México). *M+ A, revista electrónica de medioambiente*, (9), 15-35.

- Corbacho, C., J. M. Sánchez y E. Costillo. 2003. Patterns of structural complexity and human disturbance of riparian vegetation in agricultural landscapes of Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95:495-507
- Cruz López, U., y Tello Moreno, R. I. (2020). Propuesta para el desarrollo turístico del centro turístico Uninajab en Comitán de Domínguez, Chiapas. (Tesis de Licenciatura) Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
- Cuezzo, MG (2009). Moluscos gasterópodos. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*, pp. 595-629.
- Díaz-Hernández, J. A., Ugalde-Silva, P., Berriozabal-Islas, C., Novelo, A., Hernández-Uc, J., Arana-May, A., y Borbolla-Vázquez, J. (2023). Aquatic microdiversity from urban cenotes in Cancun, Quintana Roo, Mexico. *Subterranean Biology*, 46, 129-145.
- Durán Calderón, I., Escolero Fuentes, O. A., Muñoz Salinas, E., Castillo Rodríguez, M., y Silva Romo, G. (2014). Cartografía geomorfológica a escala 1: 50,000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 263-277.
- Esteves, F. (2011). Fundamentos de limnología, tercera edición. Editora Interciencia Ltda.
- Field, M. S. (2002). A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology. The Karst Water Institute. E.U.A. 214 pp
- Fragoso-Servón, P., Bautista, F., Frausto, O., y Pereira, A. (2014). Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1: 50,000 y sus

tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 31(1), 127-137

Gómez, S., Salazar, C., y Longo, M. (2016). Diversidad y biomasa de macroinvertebrados asociados acuatro tipos de sustratos en la laguna La Virginia, páramo Sumapaz, Colombia. *Biota Colombiana*, 17.

González-De Zayas, R., de León, L. L. P., Rodríguez, L. G., Pupo, F. M., y Hernández-Fernández, L. (2020). Limnological characteristics, community metabolism and management strategies of a coastal sinkhole in Cuba (Cenote Jennifer). In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 56, p. 24). EDP Sciences.

González-Medrano, F., y Mejía, G. H. (1998). Las dolinas de Tamaulipas. *Ciencias*, vol 50, 56-58.

Grego J, Angyal D, Liévano-Beltrán LA (2019) First record of subterranean freshwater gastropods (Mollusca, Gastropoda, Cochliopidae) from the cenotes of Yucatán state. *Subterranean Biology* 29: 79–88.  
<https://doi.org/10.3897/subtbiol.29.32779>

Grillet, M. E., Del Ventura, F., Noya, O., Alarcón de Noya, B., y Pierre Pointier, J. (2016). Distribución de moluscos (Gastropoda) de importancia médica en Venezuela. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 56(2), 211-228.

Guevara Fletcher C. E., Cantera Kintz J. R., Córtes Pineda F. A. y Mejía Ladino L. M. (2006) Macrofauna bentónica asociada a los fondos sumergidos de Bahía

Málaga, Pacífico Colombiano. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Magdalena, Colombia.

Hanson, P., Springer, S., y Ramirez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista De Biología Tropical*, 58(S4), 3–37. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.20080>

Harrison, E., R. Norris y S. Wilkinson. 2007. The impact of fine sediment accumulation on benthic macroinvertebrates: implications for river management. *Proceedings of the 5th Australian Stream Management Conference. Australian rivers: making a difference.* Charles Sturt University. Thurgoona, New South Wales, 139-144.

Hubp, J. L. 1999. *Diccionario Geomorfológico.* Coordinación de Ciencias, Instituto de Geografía, UNAM, Mexico, D. F

INEGI (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010 Tzimol, Chiapas.*

Kambesis, P., y Bishop, G. (2019). Karst hydrogeology and geomorphology of the Yucatan Peninsula (Mexico). In *Karst Geomorphology* (pp. 1-17). Springer.

Kabat, A. R., y Hershler, R. (1993). The prosobranch snail family Hydrobiidae (Gastropoda: Rissooidea): review of classification and supraspecific taxa. *Smithsonian Contributions to Zoology*. N. 547

Lachavanne, J. B. y R. Juge. (1997). *Biodiversity in land-inland water ecotones. Man and the Biosphere Series.* UNESCO y Parthenon Publ., Paris, Francia

Ladrera Fernández, R. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. Obtenido de file. *C:/Users/Lorena/Downloads/Dialnet-LosMacroinvertebradosAcuaticosComoIndicadoresDeIEs-4015812, 20(1).*

Lange, G., Darr, A., y Zettler, M. L. (2014). Macrozoobenthic communities in waters off Angola. *African Journal of Marine Science*, 36(3), 313-321.

Lemus, J. L. C., Del Pilar Torres García, M., y Mondragón, M. F. (1986). *El océano y sus recursos: Panorama oceánico*. Fondo de Cultura Económica.

Lodge, D. M., Brown, K. M., Klosiewski, S. P., Stein, R. A., Covich, A. P., Leathers, B. K., & Bronmark, C. (1987). Distribution of freshwater snails: spatial scale and the relative importance of physicochemical and biotic factors. *American Malacological Bulletin*, 5(1), 73-84.

Lydeard, C., Cowie, R. H., Ponder, W. F., Bogan, A. E., Bouchet, P., Clark, S. A., y Thompson, F. G. (2004). The global decline of nonmarine mollusks. *BioScience*, 54(4), 321-330.

Macario-González, L., Cohuo, S., Angyal, D., Pérez, L., & Mascaró, M. (2021). Subterranean waters of Yucatán Peninsula, Mexico reveal epigeal species dominance and intraspecific variability in freshwater ostracodes (Crustacea: Ostracoda). *Diversity*, 13(2), 44.

Mallet, D., y Pelletier, D. (2014). Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: a review of sixty years of publications (1952–2012). *Fisheries Research*, 154, 44-62.

Marrón Becerra A., Charqueño Solís F., Hermoso Salazar M. y Solís Weiss V. (2014) Estudio de la macrofauna asociada a macollas del Cenote Aerolito, Cozumel, Quintana Roo. Universidad Nacional Autónoma de México.

Medina-González, R. M. (2016). Aspectos biológicos de los cenotes de Yucatán.

Mejía-Ortíz, L. M., Sprouse, P., Tejeda-Mazariegos, J. C., Valladarez, J., Frausto-Martínez, O., Collantes-Chavez-Costa, A. L., ... y Yáñez, G. (2021). Tropical subterranean ecosystems in Mexico, Guatemala and Belize: a review of aquatic biodiversity and their ecological aspects. *Natural History and Ecology of Mexico and Central America*, 41-58.

Mélzer, A., Celia, N., Ruiz, R., José, L., & Aguilar, G. Distribución y abundancia de *Melanoides Tuberculata* (Gastropoda: thiaridae) en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco, México. *Acta Zoologica Mexicana*. N25

Merino, M. A. O., Conforme, M. C. M., Conforme, M. V. M., y Barzola, J. L. S. (2020). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la parte céntrica del río Jipijapa - Ecuador. *RECIMUNDO*, 4(4), 454-467. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.454-467](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.454-467)

Mora, L., Bonifaz, R., y López Martínez, R. (2016). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 377-394.

Moreno C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, España. M&T-Manuales y Tesis SEA.

Núñez, V., y Pelichotti, P. E. (2003). Sinopsis y nuevas citas para la distribución de la familia Physidae en la Argentina (Gastropoda: Basommatophora). *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay*, 8(81), 259-261.

- Obando Amador, A. F. (2023). Caracterización hidrogeológica del sistema Kárstico Gabinarraca-Menonitas-La Higuera en la cuenca de la quebrada El Tunel, Venado de San Carlos, Alajuela, Costa Rica (Tesis de maestría) Universidad de Costa Rica.  
[https://www.researchgate.net/publication/370521766\\_Caracterizacion\\_hidrogeologica\\_del\\_sistema\\_karstico\\_Gabinarraca-Menonitas-La\\_Higuera\\_en\\_la\\_cuenca\\_de\\_la\\_quebrada\\_El\\_Tunel\\_Venado\\_de\\_San\\_Carlos\\_Alajuela\\_Costa\\_Rica?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6Il9kaXJlY3QifX0](https://www.researchgate.net/publication/370521766_Caracterizacion_hidrogeologica_del_sistema_karstico_Gabinarraca-Menonitas-La_Higuera_en_la_cuenca_de_la_quebrada_El_Tunel_Venado_de_San_Carlos_Alajuela_Costa_Rica?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6Il9kaXJlY3QifX0)
- Oseguera Ruiz, M. J. (2021). *Integración de destinos turísticos en el Estado de Chiapas: una propuesta de valor frente a la realidad actual* (Tesis de Maestría), Universidad de Quintana Roo.
- Pech-Pool, D., y Ardisson-Herrera, P. L. (2010). Comunidades acuáticas: Diversidad en el bentos marino-costero. In Biodiversidad Marina y Costera de México. Ecosistemas y Comunidades (pp. 144–146).
- Pennak, R.W. 1978. *Fresh-Water Invertebrates of the United States*. 2<sup>nd</sup> Edition, Jhon Wiley Sons, New York. pp 803.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.
- Rivera Usme, J. J. y Pinilla Agudelo, G. A. (2013). Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia*, 35(2), 389-408.
- Rodríguez, P. (2002). Fauna de Oligoquetos acuáticos (Annelida, Oligochaeta) bentónicos y subterráneos de la isla de Coiba (Panamá) y Cuba. *Graellsia*, 58(2), 3-19.

Sánchez, J. A., Alvarado, E. M., Barrios, L. F., y Ochoa, E. (2023) BUCEO CIENTÍFICO: Procedimientos y metodologías. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Editorial Gente Nueva. Bogotá, Colombia.

Sanchez Rueda M. Y Ponce Márquez M. (1996), Estudio y colecta de organismo marinos, estuarino-lagunares y de agua dulce. Metodos hidrobiológicos II, Universidad Autónoma Metropolitana.

Sanz Lázaro, C. (2011). La macrofauna del fondo marino. *Eubacteria*, nº 26 (2011).

Schmitter-Soto J. J., Comín F. A., Escobar Briones E.m Herrera Silveira J. (2002) Hydrogeochemical an Biological Characteristics of Cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia* 467, 215.228 pp.

Schmitter-Soto J.J., E. Escobar-Briones, J. Alcocer, E. Suárez-Morales, M. Elías-Gutiérrez, L.E. Marín (2002) “Los cenotes de la península de Yucatán”, en G. de La Lanza y J.L. García Calderón (comps.), Lagos y presas de México, agt, México.

Smirnov N. N., Elías-Gutiérrez M. (2011) Biocenotic characteristics of some Yucatan lentic water bodies based on invertebrate remains in sediments. *Inland Water Biology* 4(2): 211–217. <https://doi.org/10.1134/S1995082911020295>

Strong, E. E., Gargominy, O., Ponder, W. F., y Bouchet, P. (2008). Global diversity of gastropods (Gastropoda; Mollusca) in freshwater. *Freshwater animal diversity assessment*, 149-166.

Taylor, C. J., y Greene, E. A. (2008). Hydrogeologic characterization and methods used in the investigation of karst hydrology. Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water, 71-114.

- Taylor, D. W. (2003). Introduction to Physidae (Gastropoda: Hygrophila); biogeography, classification, morphology. *Revista de biología tropical*, 51(S1), 1-287.
- Thompson, F.G. 2004. Freshwater snails of Florida. A manual for identification. University of Florida, Gainesville, Florida, EEUU (También disponible en línea: [www.flmnh.ufl.edu/malacology/fl-snail/snails1.htm](http://www.flmnh.ufl.edu/malacology/fl-snail/snails1.htm)).
- Thorp, J. H., y Covich, A. P. (2001). Introduction to freshwater invertebrates. *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates (second edition)*. Academic Press, San Diego, 1-18.
- Toledo González J. A. (2022) Composición y distribución espacio-temporal de macroinvertebrados en la bocabarra del sistema lagunar La Joya-Buenavista, Tonalá, Chiapas. (Tesis de licenciatura) Centro de Investigaciones Costeras, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Trinidad Ocaña, C., Juárez-Flores, J., Sánchez, A. J., y Barba Macías, E. (2018). Diversidad de moluscos y crustáceos acuáticos en tres zonas en la cuenca del río Usumacinta, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 89, 65-78.
- Valdez, C. G., Guzmán, M. A., Valdés, A., Forougbakhch, R., Alvarado, M. A., y Rocha, A. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1674-1682.
- Whitaker, F. F., Smart, P. L., Vahrenkamp, V. C., Nicholson, H., y Wogelius, R. A. (1994). Dolomitization by near-normal seawater? Field evidence from the Bahamas. *Dolomites: A Volume in Honour of Dolomieu*, 109-132.