



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

Diversidad de especies de peces en los cenotes de Isla Cozumel

TESIS

Para obtener el grado de

Licenciada en Manejo de Recursos Naturales

PRESENTA

Alumna: Esmeralda Jazmín Gómez Hernández



DIRECTOR DE TESIS

Dr. Adrián Cervantes Martínez

ASESORES

Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre

Dr. Enrique Lozano Álvarez



Cozumel Quintana Roo, México, diciembre de 2021



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité de Tesis del programa de licenciatura y aprobada como requisito para obtener el grado de:

Licenciada en Manejo de Recursos Naturales

COMITÉ DE TESIS

Director: Dr. Adrián Cervantes Martínez

Asesor: Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre

Asesor: Dr. Enrique Lozano Álvarez



Cozumel Quintana Roo, México, diciembre de 2021

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a mi papá por haberme brindado todo el apoyo durante esta etapa de mi vida. Por educarme, enseñarme tantas valiosas lecciones y por impulsarme a ser mejor cada día.

Al Dr. Adrián Cervantes-Martínez, por invertir su valioso tiempo, así como depositar su confianza en mí para llevar a cabo este trabajo, y asesorarme en este sentido. Por apoyarme en los muestreos de campo y brindarme todas las facilidades para terminar en tiempo y forma.

A mis asesores, la Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre y al Dr. Enrique Lozano Álvarez por todo el apoyo brindado antes y durante el inicio del trabajo de tesis, así como sus valiosas aportaciones y enseñanzas.

Al Dr. Jacobo Schmitter Soto del ECOSUR, Chetumal por su disposición y apoyo en la resolución de mis dudas. A la Dra. Martha Valdez por instruirme en la preservación de los organismos, así como del proceso para depositar las muestras dentro de la colección ictiológica del ECOSUR, de igual manera a la M.C Janneth Padilla por brindarme la información referente a los catálogos.

A mis compañeros de la licenciatura, por hacerme pasar momentos inolvidables, vivir las mejores aventuras juntos y hacerme disfrutar aún más todo el proceso de la licenciatura.

A la Biol. Dolores Flores y al Biol. Héctor González por darme la oportunidad de desarrollarme en un ámbito laboral, por confiar en mí, abrirme las puertas a nuevas áreas y por todo el apoyo.

Finalmente, a ti Luis por acompañarme en toda la licenciatura, por ayudarme a crecer en todos los sentidos, por brindarme tu apoyo y amor incondicional, gracias por todo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	9
JUSTIFICACIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
OBJETIVO.....	11
OBJETIVOS PARTICULARES.....	11
ÁREA DE ESTUDIO.....	12
Localización	12
Geología y edafología	13
Hidrología.....	13
Climatología.....	13
Vegetación	13
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Colecta de muestras	14
Identificación de especies	16
Abundancia relativa	21
Índice de Shannon Wiener (H')	21
Índice de Simpson (J').....	21
Captura por unidad de esfuerzo.....	22
Variables fisico-químicas	22
RESULTADOS	23
Identificación de especies	23
<i>G yucatanana</i>	23
<i>P. velífera</i>	26
<i>B. curacao</i>	28
Abundancia relativa	32
Índice de Shannon-Wiener (H')	34
Índice de Simpson (J').....	35
Captura por unidad de esfuerzo (CPUE).....	37
Cenote Caletita.....	37
Cenote Muelle	38
Cenote Aerolito.....	39
Cenote Ecología.....	39
Cenote Maravillas	40
Cenote UQROO	41
Parámetros físicos y químicos.....	42
Temperatura	42
Saturación de oxígeno	43
Oxígeno disuelto	44
Conductividad y salinidad.....	44
pH.....	45
DISCUSIÓN	48
Identificación de especies	48
Abundancias relativas	50
Índice de Shannon Wiener (H')	51

Índice de Simpson (J'):	51
Variables físico-químicas	52
CONCLUSIONES	55
LITERATURA CITADA	57
ANEXOS	63
Anexo 1	63
Anexo 2	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Área de estudio Isla Cozumel, Quintana Roo, México	12
Fig. 2 Sitios de muestreo	14
Fig. 3 Sistemas acuáticos.....	15
Fig. 4 Colocación de trampas cono	16
Fig. 5 Estructura general de los peces.....	17
Fig. 6 A) Posiciones de la boca, B) Boca protráctil	17
Fig. 7 A) Tipos de membranas branquiostegas, B) Ubicación de la placa gular	18
Fig. 8 A) Posición de las aletas pélvicas, B) Tipos de aletas pélvicas	18
Fig. 9 Tipos de dientes.....	19
Fig. 10 Tipos de aletas anales y sus modificaciones.....	19
Fig. 11 A) Posición de los ojos con relación a la longitud cefálica (a. media b. anterior y c. posterior), B) Posición de los ojos con relación al eje medio horizontal de la cabeza (a. normal, b. intermedia y c. dorsal).....	20
Fig. 12 A)Tipos de escamas, B) Escamas de la línea lateral y otros conteos en el empleo de claves taxonómicas	20
Fig. 13 Estructura del gonopodio de <i>Gambusia</i>	21
Fig. 14 Mapa de distribución de las especies en los cenotes de estudio.....	23
Fig. 15 Ejemplares macho y hembra de <i>G. yucatanana</i> capturados durante lluvias	24
Fig. 16 Gonopodio de <i>G. yucatanana</i>	25
Fig. 17 Estructura general de <i>G.yucatanana</i>	25
Fig. 18 Ejemplares machos y hembras de <i>P.velifera</i> capturados durante nortes	27
Fig. 19 Gonopodio de <i>P.velifera</i>	28
Fig. 20 Ejemplar hembra de <i>B. curacao</i> capturado durante lluvias.....	29
Fig. 21 Características generales de <i>B.curacao</i>	30
Fig. 22 Abundancias relativas en tres épocas climáticas.....	33
Fig. 23 Abundancia relativa de los seis cenotes durante las tres épocas climáticas.....	34
Fig. 24 Índice de Shannon Wiener (H') e índice de Simpson (J') de tres épocas climáticas.....	35
Fig. 25 Índice de Simpson (J') en tres épocas climáticas.....	36
Fig. 26 índice de Shanon (H') en tres épocas climáticas.....	37
Fig. 27 CPUE de los seis cenotes durante las tres épocas climáticas	42
Fig. 28 Variables fisicoquímicas de seis cenotes durante tres épocas climáticas	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de oxígeno disuelto donde se ha registrado a <i>G. yucatanana</i>	26
Tabla 2. Registros internacionales y nacionales de <i>B. curacao</i>	31
Tabla 3. Organismos depositados en la colección ictiológica del ECOSUR-Chetumal.....	32
Tabla 4. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Caletita durante tres épocas climáticas.....	38
Tabla 5. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Muelle durante tres épocas climáticas.....	38
Tabla 6. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Aerolito durante tres épocas climáticas.....	39
Tabla 7. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Ecología durante tres épocas climáticas.....	39
Tabla 8. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Maravillas durante tres épocas climáticas.....	40
Tabla 9. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote UQROO durante tres épocas climáticas.....	41
Tabla 10. Valores promedio de temperaturas (°C).....	43
Tabla 11. Valores promedio de saturación de oxígeno (%).....	43
Tabla 12. Valores promedio de oxígeno disuelto (mg/L).....	44
Tabla 13. Valores promedio de conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	44
Tabla 14. Valores promedio de salinidad (ppt).....	45
Tabla 15. Valores promedio de pH.....	46

RESUMEN

Dadas las características cársticas de la Península de Yucatán, los cenotes constituyen las principales aguas naturales superficiales de la región; las diversas condiciones que estos sistemas poseen permiten la presencia de una gran variedad de organismos, siendo los peces los principales habitantes; sin embargo, la información en cuanto a las especies presentes en Isla Cozumel resulta escasa. En este trabajo se evaluó la riqueza de especies, la abundancia relativa, los índices ecológicos (Shanon-Wiener y Simpson) así como la variación físico-química: temperatura del agua (°C), oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno (%), salinidad (ppt), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH de seis cenotes de Isla Cozumel durante tres épocas climáticas (lluvias, nortes y secas) reportadas para la región. Los resultados obtenidos mostraron la presencia de tres especies, *Gambusia yucatanana* Regan, 1914 se registró en los seis cenotes de estudio, *Poecilia velifera* (Regan, 1914) en el Cenote Ecología y *Bathygobius curacao* (Metzelaar, 1919) en Cenote Aerolito. *G. yucatanana* fue la especie con mayor abundancia en las tres épocas climáticas, siendo esta una especie dominante, presentó una abundancia relativa del 100% durante secas, *P. velifera* se registró durante lluvias y nortes, con una abundancia relativa de 4.87 y 1.7 %, respectivamente, mientras que *B. curacao* únicamente fue capturada en lluvias y su abundancia fue la más baja (0.44%). En cuanto a las características fisicoquímicas de los cenotes, de manera general presentaron aguas poco oxigenadas, cuyos valores se encuentran por debajo de lo establecido en los criterios ecológicos para la protección de la vida acuática (CE-CCA-001/89). Sobre la base de los registros de temperatura (24.87-28 °C), estos sistemas probablemente se encuentran bajo influencia de aguas subterráneas, lo cual es evidenciado por los bajos valores registrados, a excepción del Cenote Maravillas el cual ha sido clasificado sin conexión subterránea. El pH corresponde a aguas neutras a básicas en la mayoría de los sistemas y épocas climáticas. En cuanto a su salinidad, la mayoría de los cenotes corresponden a aguas salobres (0.62 a 25 ppt), a excepción de los cenotes Muelle y Maravillas los cuales son de agua dulce. El presente trabajo contribuirá al conocimiento actual de la fauna ictiológica a nivel local y regional, lo que permitirá sentar las bases para el manejo sostenible del recurso ictiológico en zonas cársticas.

Palabras clave: Riqueza, Ictiofauna, Cenotes, Cozumel, Ecología

INTRODUCCIÓN

La Península de Yucatán (PY) se caracteriza por su paisaje llano y carente de montañas; dentro de la región es notorio la ausencia de ríos superficiales debido a que la mayor parte de las precipitaciones se infiltra al subsuelo, esto por la permeabilidad de la roca caliza y el suelo de tipo calcáreo (Schmitter-Soto *et al.*, 2002).

Los suelos calcáreos se distinguen por sufrir un proceso altamente dinámico conocido como carstificación, el cual consiste en la disolución de la roca (compuesta de CaCO_3) en la presencia de ácido carbónico (HCO_3^-); producto de la reacción entre el dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O). Estos procesos dan lugar a la formación de sistemas acuáticos particulares constituidos por aguas expuestas (cenotes y aguadas) y subterráneas, ambas de tipo cárstico. (Suárez-Morales y Rivera-Arriaga, 1998; Gutiérrez-Aguirre, 2007).

Las principales aguas naturales superficiales en la PY son los cenotes, dolinas redondas y profundas, formadas por el proceso de carstificación anteriormente descrito. La mayoría contienen agua dulce, mientras que otros cercanos a la costa son salobres.

Muchos cenotes y cuevas cercanos al litoral caribeño contienen ambientes anquihalinos. Este término fue acuñado por Holthuis en 1973 para describir estanques sin conexión superficial con el mar, que contienen aguas saladas o salobres y que fluctúan con las mareas (Ilfie, 1993).

Dentro de la PY, el Estado de Quintana Roo posee un extenso litoral aproximadamente de 900 km y más de 200 cuerpos de agua, entre cenotes, aguadas, lagunas interiores y lagunas costeras, junto con varios arroyos permanentes, incluyendo el Río Hondo (Martínez-Hernández, 2013).

Las características fisiográficas particulares de cada cenote han permitido que en varios de ellos se presenten microclimas particulares, lo que ocasiona que la flora y fauna silvestre establecidas en ellos y su área de influencia posean características distintivas (Sosa-Escalante y Chablé-Santos, 2013).

De acuerdo con Chumba-Segura y Medina-González (2000), los principales habitantes de este tipo de sistemas son los peces, entre los cuales se encuentran especies

provenientes de ambientes costeros, adaptados a las condiciones propias de estos sistemas epicontinentales.

De acuerdo con Ramírez *et al.* (2004), la ictiofauna a nivel global está contenida en 484 familias y 57 órdenes. A nivel especie se han registrado un aproximado de 24 618 especies válidas de peces, que equivaldrían a poco más de la mitad del total de los vertebrados registrados (48 170 especies) (Espinosa-Pérez, 2014). De las especies de peces registradas, 9 966 son dulceacuícolas, lo cual indica la gran riqueza biológica de este tipo de organismos.

La estructura de la comunidad de peces en hábitats acuáticos estables (como los cenotes) puede estar muy relacionada con variables morfológicas como la pendiente de la costa y la composición de las paredes de los sistemas acuáticos. Estas variables tienen una influencia directa en la columna de agua en el factor abiótico, como la temperatura, el pH, la turbidez y el oxígeno disuelto. Además, la pendiente de la costa influye en la complejidad del hábitat para los peces (Camargo-Guerra *et al.*, 2013).

Los peces de todo tipo de ambientes acuáticos pueden realizar migraciones para encontrar las condiciones ideales para su supervivencia (Espinosa-Pérez, 2014), pudiendo estar relacionados con fines reproductivos; por ejemplo, algunas larvas o juveniles de especies oceánicas hacen recorridos extensos para poder llegar a las zonas de alimentación, mientras que otras se encuentran restringidas a vivir en áreas como cuevas, cenotes o pequeños manantiales.

En cuanto a su capacidad para tolerar los cambios ambientales, Espinosa-Pérez (2014) menciona que algunas especies son tolerantes a las variaciones de salinidad, mientras que otras sólo pueden vivir en aguas dulces de 0.01 unidades prácticas de salinidad (ups) y otras pueden soportar hasta 100 ups. Las aguas presentes en los cenotes de isla Cozumel contienen altas concentraciones salinas, principalmente en las porciones más profundas. En algunos cenotes, particularmente en aquellos cercanos al mar, debajo del agua dulce se encuentra agua salada, donde se puede producir meromixis; esto ocurre debido a la presencia de una lente delgada (10 metros de espesor) que flota sobre el agua salina más densa (Schmitter-Soto *et al.*, 2002; Yañez *et al.*, 2008).

De acuerdo con los perfiles verticales de salinidad, todos los sistemas de Cozumel presentan como característica una capa de agua hiposalina flotando sobre agua

marina (Yañez *et al.*, 2008). En áreas cársticas insulares se presenta una rápida infiltración de las aguas dulces superficiales producto de la precipitación, mientras que el agua salina se extiende a través de la matriz porosa desde el margen costero y por debajo de la anterior.

La fauna de cenotes presenta particularmente mayor diversidad en los cenotes costeros (Schmitter-Soto *et al.*, 2002). Los peces en los cenotes de Quintana Roo cuentan con un buen número de especies nativas y tropicales. Para los sistemas dulceacuícolas de la Península de Yucatán se han registrado en su mayoría la presencia de cinco géneros: *Cyprinodon*, *Astyanax*, *Gambusia* y *Poecilia* (Ceballos *et al.*, 2018).

Sin embargo, la información respecto a los organismos que habitan en estos cenotes sigue siendo escasa en comparación con otras regiones, incluso existen sistemas inexplorados, sobre todo en el sur de Quintana Roo (Cervantes- Martínez *et al.*, 2009; Gutiérrez- Aguirre, 2007).

Por tal motivo, el presente trabajo tiene como objetivo generar conocimiento en cuanto a la diversidad de especies en los cenotes de isla Cozumel, Quintana Roo por medio de captura y liberación de especímenes en los sistemas acuáticos, así como la evaluación de algunas características ecológicas y de las condiciones de los sitios en los que habitan.

ANTECEDENTES

Los estudios respecto a la fauna de sistemas dulceacuícolas a nivel nacional datan de décadas pasadas. Evermann y Goldsborough (1902) realizaron un estudio en el cual llevaron a cabo una expedición en México y América Central haciendo recolectas de pequeñas colecciones de peces, las cuales fueron remitidas a la comisión de peces para su identificación. Dentro de la Península de Yucatán realizaron muestreos en Chichen Itzá, Puerto Morelos, Progreso, en la costa norte de Yucatán e Isla Mujeres y Cozumel. Recolectaron 50 especímenes, y obtuvieron un total de 5 especies.

A nivel nacional Castro-Aguirre (1978) realizó una síntesis de trabajos previos de otros ictiólogos, dentro de un catálogo aportó información sobre 349 especies en 166 géneros y 67 familias de peces marinos que penetran a las aguas continentales de México.

20 años posterior al catálogo derivado de una investigación intensa de ictiólogos mexicanos se requirió una nueva versión libro Castro-Aguirre *et al.* (1999) realizaron un nuevo libro que trata sobre 563 especies en 233 géneros y 90 familias, enlistando a más de 300 localidades, mostrando de manera práctica listas faunísticas para áreas geográficas de interés.

Otro ejemplo de estudio a gran escala es el de Miller *et al.* (2009), se encargaron de elaborar un libro que habla de manera extensa todos los peces de agua dulce de la República Mexicana y sintetiza los resultados de una labor de campo de más de 50 años. El libro está diseñado para permitir al usuario identificar a las especies mediante ilustraciones, mapas de distribución y claves dicotómicas.

Por otro lado, Ceballos *et al.* (2018) a manera de un catálogo brindaron información sobre las especies mexicanas de peces dulceacuícolas en peligro de extinción: para cada especie incluyeron una ficha descriptiva física y etológica, la justificación de su inclusión en la obra, su estado de conservación, su historia natural y ecología, así como un mapa donde se señala su distribución territorial en México, y generalmente una ilustración de la especie. En este libro viene la descripción de especies a nivel nacional, por lo cual presenta información acerca de las especies en los cenotes, aguadas, y manglares de Quintana Roo y Yucatán.

Los primeros estudios realizados para la región fueron realizados hace más de 84 años para el Estado de Yucatán, Hubbs (1936) realizó una descripción de la mayoría de las especies, el libro se basó principalmente en las colecciones obtenidas durante las exploraciones biológicas del mencionado Estado en 1932, que fueron estudiadas cooperativamente por la institución de Carnegie de Washington, la Universidad de Duke y el Museo de Zoología de la Universidad de Michigan.

Lliffe (1993) describió un listado de 22 especies de crustáceos y peces endémicos, troglobios estrictos dentro de cuevas de la península de Yucatán, que contienen aguas salobres a marinas, mientras que en el interior es completamente dulce.

Sin embargo, no existen muchos estudios respecto a la ictiofauna, uno más actual es el realizado por Medina y Tenorio (2017), quienes llevaron a cabo un estudio en el municipio de Mérida, con el objetivo de actualizar el conocimiento de la diversidad de peces, lo anterior por medio de registros en la literatura, revisión de datos de colecciones (bases de datos en línea) y muestreos. Sus resultados indicaron que la diversidad de peces del municipio está compuesta por nueve especies, seis de ellas son endémicas de la Península de Yucatán, de las cuales 4 se encuentran en la categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Para el estado de Quintana Roo, se ha generado más información respecto a la fauna ictiológica. Schmitter-Soto y Gamboa-Pérez (1996) determinaron la composición y distribución de la ictiofauna continental en el sur de Quintana Roo y áreas adyacentes de Campeche y Belice, el muestreo consistió en un total de 69 sitios. El inventario de peces continentales de Quintana Roo incluyó 85 especies, de las cuales 55 se detectaron en la zona sur, doce de estas fueron registradas por primera vez en aguas continentales del estado: *Anchoa colonensis*.Hildebrand,1943, *A. parva* (Meek & Hildebrand,1923), *Rhamdia laticaud* (Kner,1858), *Atherinella sp.*Steindachner,1875, *Strongylura timucu* (Walbaum,1792), *Diapterus auratus*. Ranzani,1842, *Eugerres plumieri* (Cuvier in Cuvier & Valenciennes,1830), *Stegastes leucostictus* (Muller & Troschel,1848), *Rivulus tenuis* (Meek, 1904), *Phallichthys fairweatheri*.Rosen & Bailey,1959, *Xiphophorus helleri* .Heckel,1848 y *Stephanolepis hispidus* (Linnaeus, 1766).

Posteriormente, Schmitter-Soto (1998) generó un libro de los peces continentales del estado de Quintana Roo, es decir, aquellos que habitan en los cenotes, lagunas y

charcas del estado. Este incluye una lista sistemática, con claves de identificación y sinopsis de cada especie. En la sinopsis se menciona el nombre científico, nombres comunes, rasgos morfológicos, diagnósticos, distribución geográfica, aspectos ecológicos (hábitat, alimentación y reproducción).

Dando continuidad para el estado de Quintana Roo, Schmitter-Soto (1999) realizó un estudio para determinar la composición y distribución de la ictiofauna continental del norte de Quintana Roo (noreste de la península de Yucatán). Se detectaron 59 especies de peces en la región; 30 de ellos ocurren también en la parte noroeste de Yucatán, y 46 de ellos están presentes en el sur de Quintana Roo y Belice; al menos uno es endémico.

Por otro lado, Camargo-Guerra *et al.* (2013) realizaron un estudio para la Reserva de Sian ka'an, siendo este estudio el más actualizado en el Estado. El estudio comprende una descripción de la estructura de la comunidad de peces en 4 cenotes, durante las temporadas de lluvias y secas, en un periodo de 4 años, así como la descripción de la morfología, características fisicoquímicas, producción primaria, abundancia y riqueza de invertebrados y peces. Los resultados dieron 11 especies de peces, pertenecientes a 5 familias: *Cichlidae*, *Poeciliidae*, *Characidae*, *Pimelodidae* y *Synbranchidae*. Esto representó un 25% de la riqueza total registrada para la Reserva de Sian Ka'an.

Para Isla Cozumel, solo se han realizado dos estudios, uno en 1998 donde se consideró a Isla Cozumel e Isla Mujeres y uno más reciente realizado por Schmitter-Soto (2007). En este estudio se presentó una lista de los peces de aguas interiores de Isla Cozumel, con base en una revisión de la literatura y de registros en colecciones ictiológicas. Cabe resaltar que para ambos estudios se contempló al cenote "Aerolito" y "El Zorro", por lo que hasta el momento no se ha generado información de la diversidad para otros cenotes de la isla; además, se capturó en otras tantas lagunas costeras y algunos manglares. De acuerdo con estos estudios realizados, la ictiofauna dulceacuícola de la Isla comprende sólo once especies: *Rivulus marmoratus* Poey 1880, *Lucania parva* (Baird & Girard, 1855), *G. yucatanana* Regan 1914, *Heterandria bimaculata* (Heckel, 1848), *Poecilia orri*. Fowler, 1943, *P. velifera* (Regan, 1914), *Cyprinodon artifrons*. Hubbs, 1936, *Floridichthys polyommus*. Hubbs, 1936, *Jordanella pulchra* (Hubbs, 1936) y *Ophisternon aenigmaticum*. Rosen & Greenwood, 1976.

Respecto a las características ambientales de algunos cenotes en Cozumel, de acuerdo con Yañez *et al.* (2008), en el cenote Aerolito se observan aguas superficiales salobres con valores medios de 20.6 ppm (aguas Polihalinas: 18-30 ppm), mientras que por debajo de los 7 m de profundidad se presentan salinidades similares a las encontradas en las aguas marinas adyacentes (Euhalinas: 30-40 ppm), con un máximo de 37.5 ppm.

Un estudio realizado en el Cenote Caletita dio como resultado valores de conductividad (25.5 ± 0.13 mS/cm) lo cual indica que el agua es de tipo salobre, con influencia de agua marina. El valor encontrado puede indicar que se trata de la misma masa de agua; es decir, que esta alimenta a la costera y viceversa (Sánchez *et al.*, 2015).

Para el Cenote Maravilla se encontró un valor promedio de salinidad en el medio ambiente promedio de 0.10 ± 0.00 en secas, 0.05 ± 0.07 en lluvias y nortes (Vázquez Chicmul, 2017).

JUSTIFICACIÓN

Los estudios taxonómicos y ecológicos sobre peces son escasos para la Península de Yucatán, ya que la mayoría han centrado su atención en especies económicamente importantes y muy pocos en la riqueza de especies, composición y distribución general de la ictiofauna (García-Hernández *et al.*, 2009).

Las primeras recolecciones de peces en la parte mexicana de la península de Yucatán fueron las de Evermann y Goldsborough (1902). La primera información que se requiere para planear la protección de los recursos naturales y su aprovechamiento sustentable es el inventario de los mismos (Schmitter-Soto, 1998).

Actualmente, son pocos los estudios que proceden de una revisión completa y actualizada que documente la riqueza ictiofaunística de los estados de la República Mexicana; un ejemplo de esto es el Estado de Quintana Roo, donde se registra la presencia de 125 especies (Rodiles-Hernández *et al.*, 2005).

De acuerdo con Gutiérrez-Aguirre (2007), el escaso conocimiento hacia los organismos que habitan un cuerpo de agua puede limitar el uso correcto y el aprovechamiento de los sistemas acuáticos subterráneos y superficiales de la región, por lo cual, es de suma importancia generar mayores estudios.

En Cozumel, al parecer los únicos datos para la isla en la literatura son los generados por Schmitter-Soto (1998, 2007) el cual registra peces sólo en un par de cenotes ubicados en la zona sur, siendo estos los únicos dos cenotes donde se han realizado estos estudios, mientras que otros tantos en lagunas costeras y algunos en manglares.

Con este estudio se generará información para seis cenotes de la isla donde no se han realizado estudios semejantes. Cabe resaltar que el último estudio realizado en la isla fue en el año 2007, presentando un lapso de aproximadamente 14 años donde no se ha generado ningún tipo de información ictiológica, por lo que el actualizar estos datos y generar nuevos se considera de suma importancia para la conservación y manejo de la ictiofauna.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es la diversidad de especies de peces en cenotes de isla Cozumel y su abundancia relativa en tres épocas climáticas?

OBJETIVO

- ❖ Determinar la diversidad de peces presentes en cenotes de agua dulce y salobres, ubicados en isla Cozumel en tres temporadas climáticas (lluvias, nortes y secas) en los años 2020-2021.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ❖ Identificar especies de peces de cenotes en isla Cozumel por medio de claves dicotómicas y literatura especializada.
- ❖ Determinar el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') y el índice de dominancia de Simpson (J').
- ❖ Determinar la abundancia relativa en los cenotes de estudio.
- ❖ Determinar la captura por unidad de esfuerzo (CPUE)
- ❖ Determinar las variables fisicoquímicas: concentración de oxígeno disuelto (mg/l), saturación de oxígeno (%), temperatura del agua (C°), conductividad ($\mu S/cm^3$), salinidad (ups) y pH en los cenotes de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

Localización

Isla Cozumel se encuentra ubicada en el Mar Caribe y pertenece al Estado de Quintana Roo en México, tiene una longitud máxima de 45 km y una anchura de 15 km, se localiza en los paralelos 20°16' y 20°36' de latitud norte; los meridianos 86°43' y 87°22' de longitud oeste; altitud entre 0 y 100 m (Fig.1). Colinda al norte con el municipio de Solidaridad y el Mar Caribe (Mar de las Antillas); al este con el Mar Caribe (Mar de las Antillas); al sur con el Mar Caribe (Mar de las Antillas) y al oeste con el Mar Caribe (Mar de las Antillas) y con los municipios de Tulum y Solidaridad (INEGI, 2009).

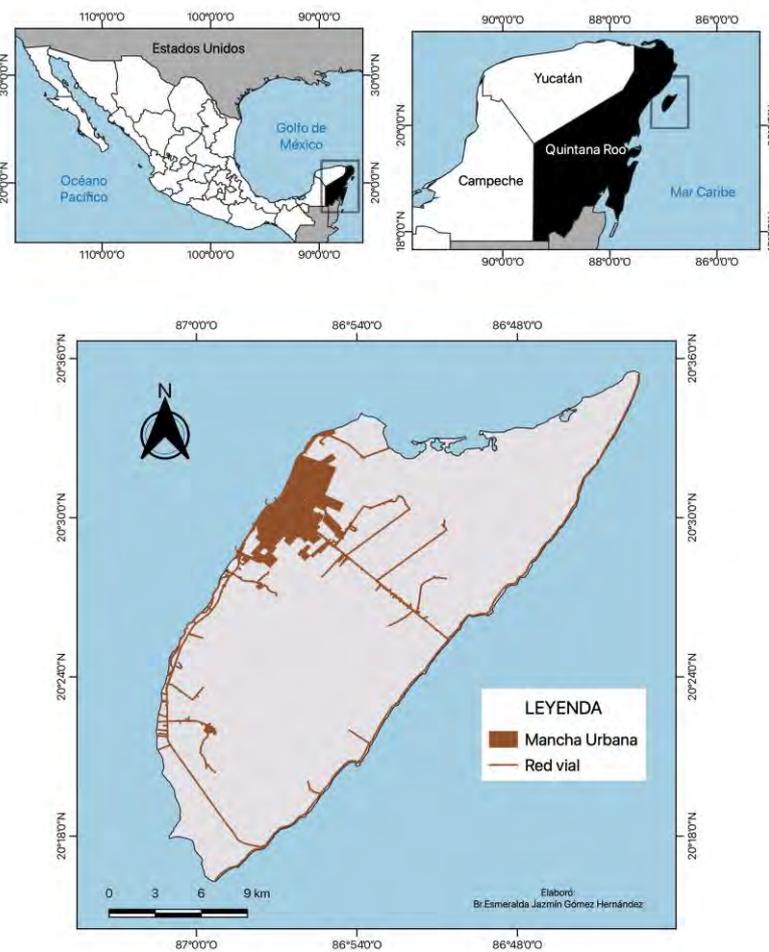


Fig. 1 Área de estudio Isla Cozumel, Quintana Roo, México

Geología y edafología

Isla Cozumel se formó durante el Oligoceno hace unos 40 millones de años por la acumulación de calizas y dolomías en un ambiente de baja energía. La presencia en dichas rocas de agua salada, así como la ausencia de conductos de disolución, confirman que nunca han sido expuestas en la superficie marina. Los grupos principales de tipos de suelo se distribuyen con extensiones muy desiguales, en la selva mediana subcaducifolia los tipos de suelo son Leptosol húmico rendzico, Leptosol húmico lítico y Phaeozems húmicos lépticos; en la selva inundable el suelo es Solonchak de tipo arénico sódico y arenos calcárico. En el caso de la duna costera los tipos de suelo que existen son Arenosol calcárico sódico, Leptosol húmico lítico y Gleysol arénico sódico. Sin embargo, el suelo dominante es leptosol (68.77%), solonchak (11.65%), arenosol (9.55%) y gleysol (5.91%) (CONANP,2007; INEGI,2009; Alamilla Pastrana y May Uicab, 2013).

Hidrología

La erosión kárstica de las calizas de la isla de Cozumel ha determinado, por un lado, la ausencia de cauces de agua superficial y, por el otro, la formación de un cuerpo subterráneo de agua dulce que yace sobre las aguas saladas marinas, de mayor densidad. Esta lente de agua dulce alcanza su máximo espesor en la zona centro-oriental de la isla (Anónimo,1998).

Climatología

El clima en la isla de Cozumel es del tipo Am w (I), es decir, cálido húmedo con abundantes lluvias en verano según el sistema de Köppen modificado por García (2004). La temperatura es de 25.5 °C con pocas oscilaciones diarias. Las temperaturas máximas se dan en agosto (valor extremo registrado de 39°C) y las mínimas en enero. En los meses de invierno, las temperaturas pueden llegar a ser un poco más bajas (20°C), habiéndose registrado un mínimo extremo de 6 °C (Alamilla Pastrana y May Uicab, 2013).

Vegetación

La flora está compuesta por 105 familias de plantas vasculares; de éstas, dos corresponden a las pteridofitas, dos a las gimnospermas y 101 a las angiospermas. Del número total de familias, exclusivamente 15 representan el 57% de la flora, siendo las leguminosas la familia más rica en la flora de la isla (Anónimo,1998).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los sitios de muestreo (Fig. 2) se encuentran localizados en el Municipio de Cozumel, Quintana Roo. Comprenden un total de seis puntos, denominados: (1) Cenote Caletita, (2) C. muelle, (3) C. aerolito, (4) C. ecología (también conocido como Cenote de la 65 avenida), (5) C. maravillas y (6) C. UQROO.

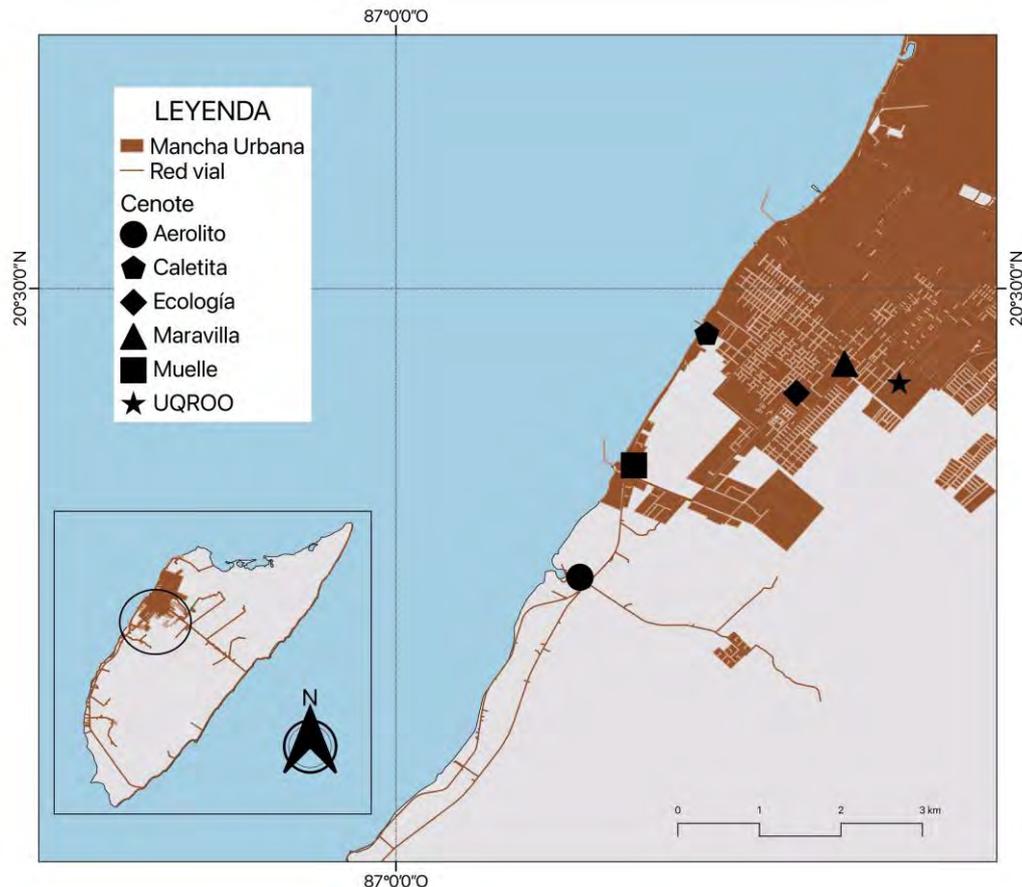


Fig. 2 Sitios de muestreo

Colecta de muestras

La primera etapa de este trabajo consistió en realizar la recolecta de organismos en los sistemas acuáticos (Fig.3). Para este proceso se utilizaron trampas denominadas “trampas de cono” elaboradas con base de botellas de plástico, las trampas se colocaron con algún tipo de cebo en el interior para atraer a los peces (Fig.4). Estas se sujetaron con la entrada en dirección contraria a la corriente para evitar la salida de los ejemplares. Cada trampa se sumergió una vez y en algunas ocasiones de dos a tres veces cuando no entraba ningún organismo, el tiempo de acción por trampa dependió de observar organismos dentro de la misma (Espinosa Pérez, 2016; Medina y

Tenorio,2017). Los organismos capturados fueron fijados *in situ* con alcohol etílico al 95%; en un frasco de vidrio, los cuales fueron etiquetados con los siguientes datos (Ver Anexo 2)

- Fecha y hora
- Nombre del cuerpo de agua
- Numero de ejemplares

De acuerdo con Espinosa Pérez (2016), es común que los especímenes cambien de coloración o adopten otra postura al morir o ser preservados por lo cual se tomaron fotografías de los organismos en estado natural.



Fig. 3 Sistemas acuáticos



Fig. 4 Colocación de trampas cono

Identificación de especies

El proceso de identificación de un espécimen comienza con la clave de identificación dicotómica de la familia, una vez identificada, el siguiente paso es dirigirse al apartado de la familia correspondiente para determinar el género y la especie. La identificación de los peces se realizó utilizando literatura especializada (Schmitter-Soto; 1998; Miller *et al.*, 2009) por medio de claves dicotómicas, es decir, conforme los caracteres se confirman presentes en el organismo (o la ausencia de estos) se avanza a través de las alternativas hasta llegar a la determinación de los organismos.

Para la identificación de la familia se utilizó un esquema general (Fig. 5) de las partes de un pez, tomando caracteres como; presencia o ausencia de mandíbulas, posición de la boca (Fig.6 A), tipos de membranas branquiostegas, ausencia/presencia de placa gular (Figs.7 A, B), la posición de las aletas pectorales (Figs.8 A, B) Tipos de aletas pélvicas, tipos de dientes (Fig.9), la modificación si es que existe de las aletas anales (Fig.10), posición de los ojos con relación a la longitud cefálica (Figs.11 A, B), la posición de los ojos con relación al eje medio horizontal de la cabeza, tipo de escamas y escamas de la línea lateral y otros conteos en el empleo de claves taxonómicas (Figs. 12 A, B).

En el caso de la familia *Poeciliidae*, se utilizaron los caracteres gonopodiales para determinar el género y la especie. El gonopodio (Fig.13) es la modificación de los

radios anales 3-5 el cual actúa como órgano sexual para realizar la fecundación interna dando a luz crías vivas. Gran relevancia toma el gonopodio en la determinación, puesto que en ciertas ocasiones no se puede identificar el organismo sin examinar machos.

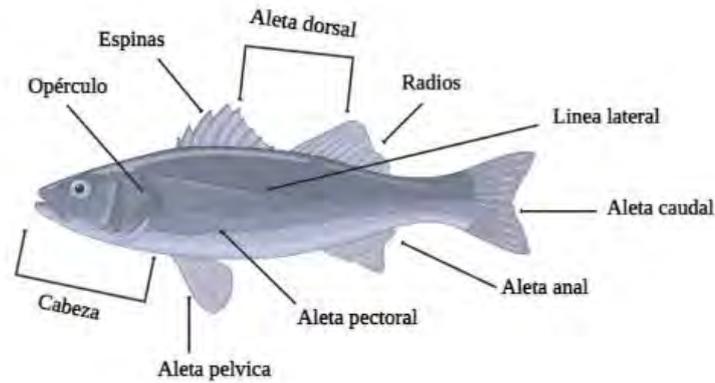


Fig. 5 Estructura general de los peces (elaboración propia en <https://biorender.com/>)

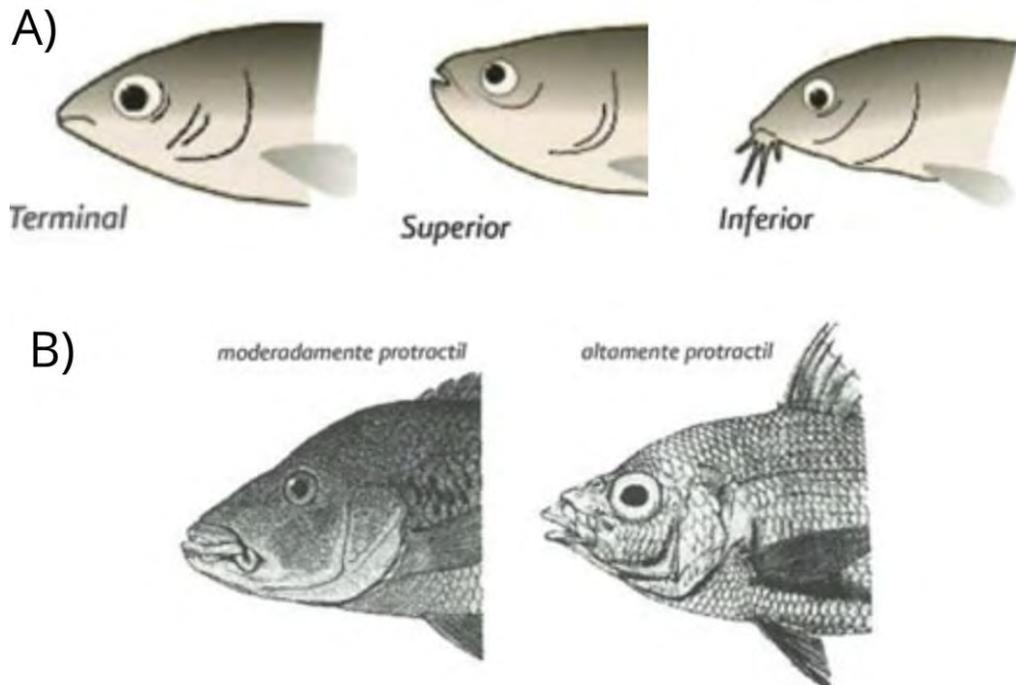


Fig. 6 A) Posiciones de la boca, B) Boca protractil (Tomado de CONAGUA,2009)

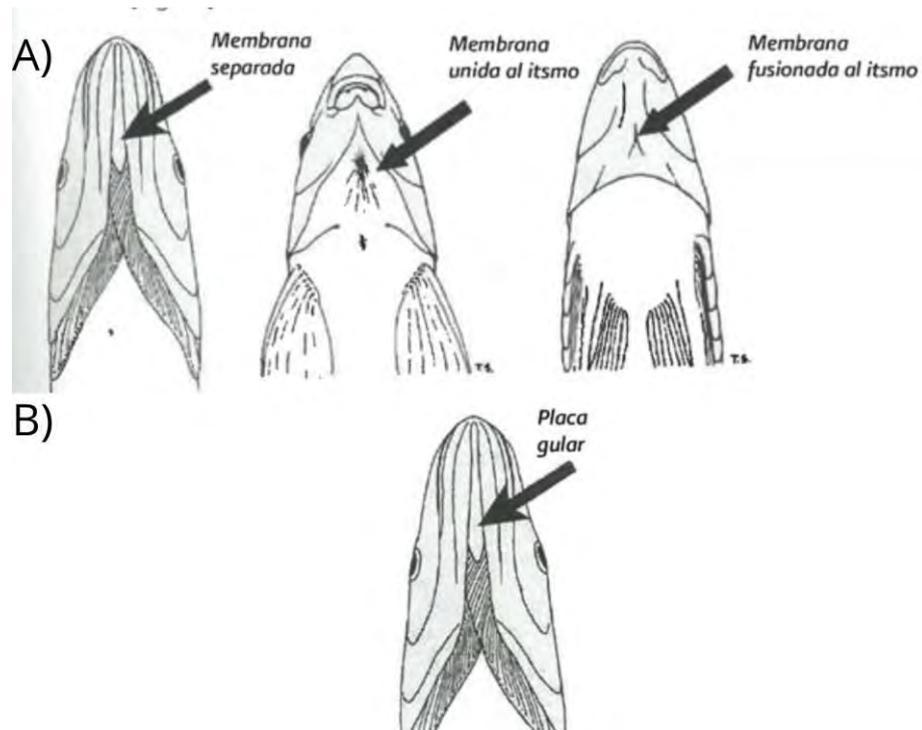


Fig. 7 A) Tipos de membranas branquiostegas, B) Ubicación de la placa gular (Tomado de CONAGUA, 2009)

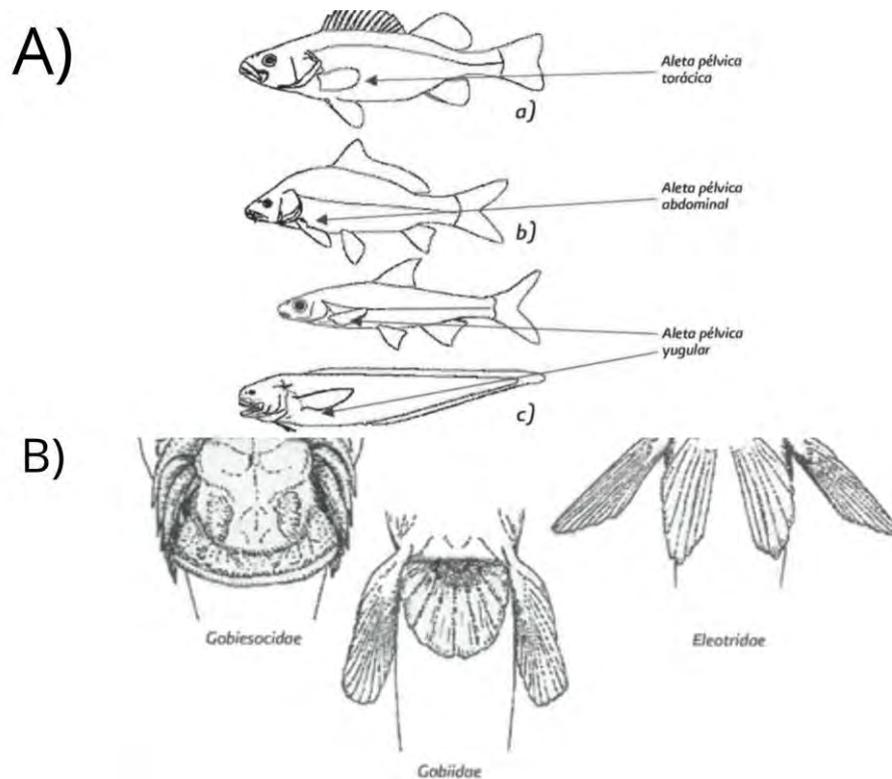


Fig. 8 A) Posición de las aletas pélvicas, B) Tipos de aletas pélvicas (Tomado de CONAGUA, 2009)

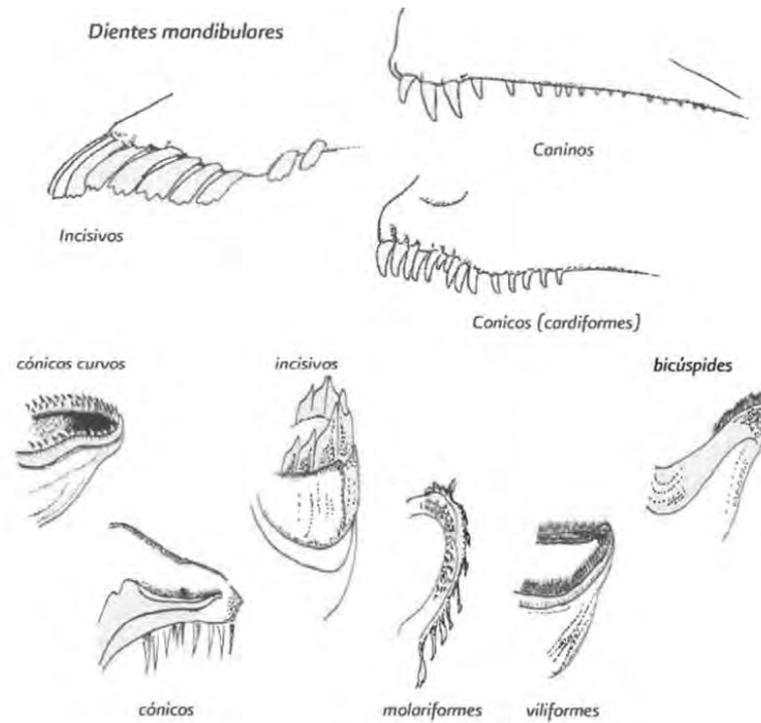


Fig. 9 Tipos de dientes (Tomado de CONAGUA, 2009)

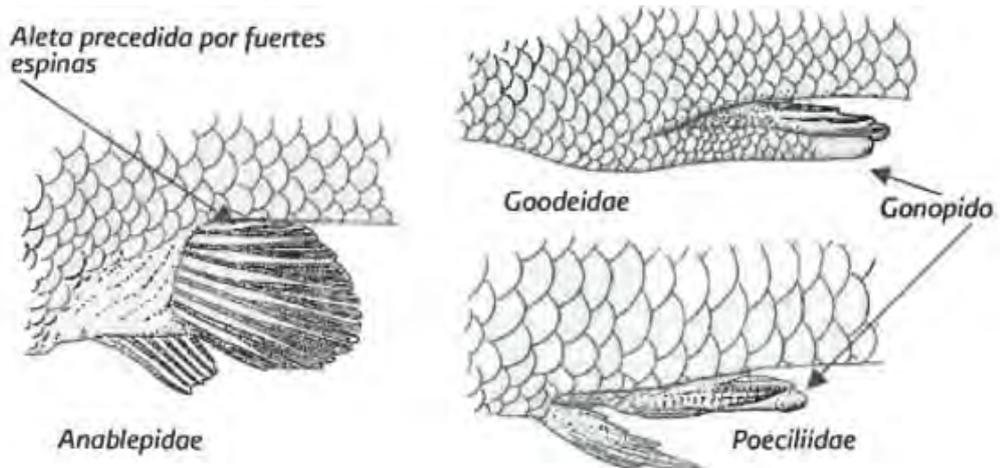


Fig. 10 Tipos de aletas anales y sus modificaciones (Tomado de CONAGUA,2009)

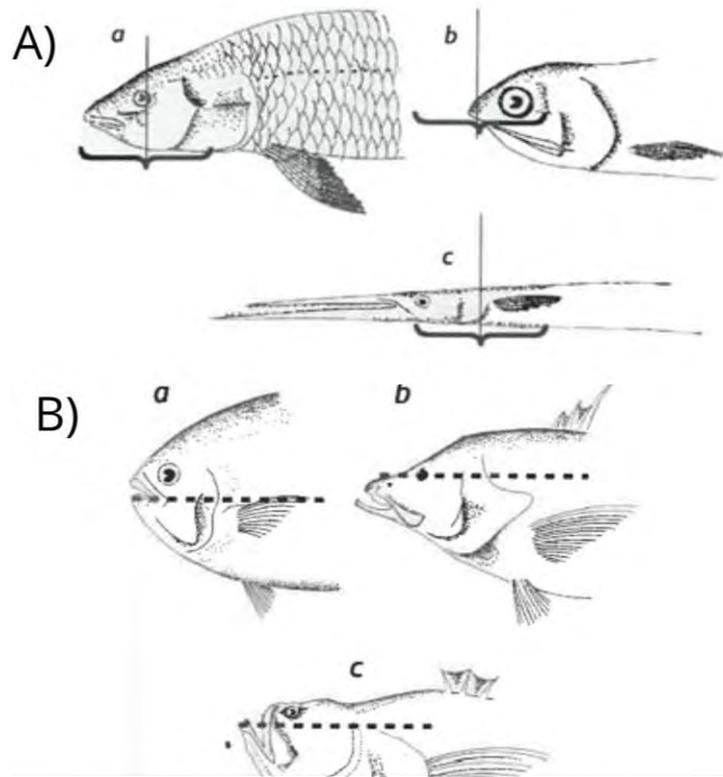


Fig. 11 A) Posición de los ojos con relación a la longitud cefálica (a. media b. anterior y c. posterior), B) Posición de los ojos con relación al eje medio horizontal de la cabeza (a. normal, b. intermedia y c. dorsal) (Tomado de CONAGUA,2009)

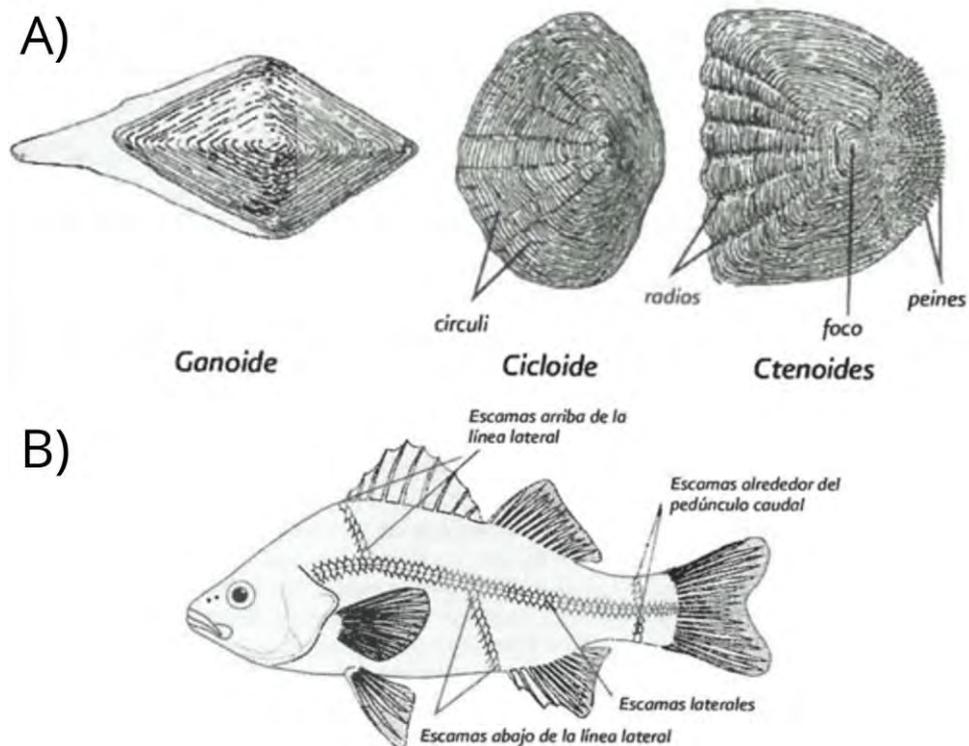


Fig. 12 A) Tipos de escamas, B) Escamas de la línea lateral y otros conteos en el empleo de claves taxonómicas (Tomado de CONAGUA,2009)

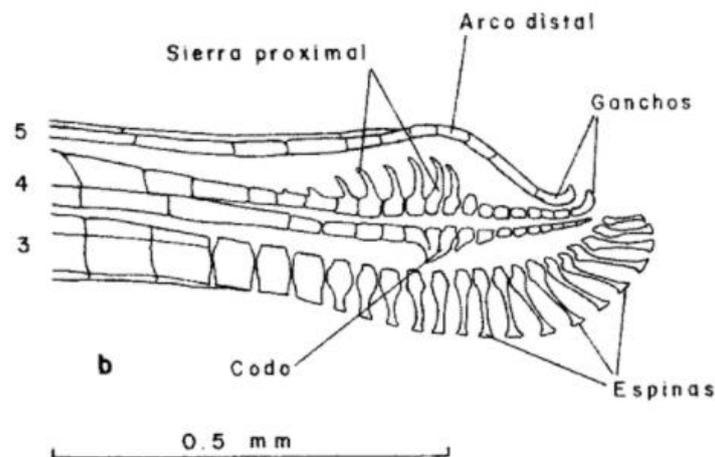


Fig. 13 Estructura del gonopodio de *Gambusia* (Tomado de Kobelkowsky y García, 2000)

Abundancia relativa

Para la determinación de abundancia relativa se realizó un análisis cuantitativo del total de individuos por especie recolectados. De acuerdo con Barjau González (2012) se considera la relación entre el número de individuos de una especie y el número total de individuos de todas las especies mediante la expresión:

$$AR = n/NT * 100$$

Dónde: n= número de organismos de cada especie, NT= número total de organismos.

Índice de Shannon Wiener (H')

La diversidad es una característica importante dentro de las comunidades, esta por lo general se encuentra relacionada con ciertas propiedades como su estabilidad, el tipo de habitat y las condiciones ambientales a las que están expuestas. Para determinar el índice de Shannon (H) se emplearon las siguientes fórmulas mostradas en Moreno (2001):

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

Donde: p_i : abundancia relativa.

Índice de Simpson (J')

El índice de Simpson manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de una misma especie. Este está influenciado fuertemente por la importancia de las especies más dominantes (Moreno, 2001).

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde: P_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Captura por unidad de esfuerzo:

La forma más adecuada para obtener y analizar los rendimientos de pesca corresponde a la captura en número de individuos, obtenida por el tiempo de captura denominada como captura por unidad de esfuerzo (Ruiz-Campos *et al.*, 2014) (CPUE) mediante la expresión:

$$\text{CPUE} = \text{individuos/tiempo de captura}$$

Variables físicas y químicas del agua:

Se analizaron *in situ* variables físico-químicas del agua como: temperatura del agua (°C), oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno (%), salinidad (ups), conductividad eléctrica (mS/cm³) y pH, con la ayuda de una sonda multiparamétrica modelo YSI QUATRO 15 E 100466. Todos los registros contaron con una muestra y dos réplicas, para trabajar sobre promedios (Sánchez *et al.*, 2015).

RESULTADOS

Identificación de especies

A través de la literatura mencionada anteriormente, se identificaron las especies, las cuales se encontraron distribuidas en los cenotes como se muestran en la Fig.14.



Fig. 14 Mapa de distribución de las especies en los cenotes de estudio

Gambusia yucatanana

Se determinó la presencia de *G. yucatanana* (Fig.15) en los seis cenotes muestreados en este estudio. Se registró a esta especie en sistemas de agua dulce y subsalinos, y salobres.

Los machos como en todos los poecílidos, poseen una aleta anal modificada, el gonopodio (Fig.16) es indispensable para la identificación de la mayoría de las especies (Pérez-León y Schmitter-Soto, 2007; Sánchez y Regil, 2011) y sirve como órgano intromitente, durante la fertilización interna de estos peces vivos y la variación geográfica en la longitud del gonopodio ha sido reportada para varias especies de poecílidos (Hankison *et al.*,2006).

Su cuerpo generalmente no es muy alargado, presentan dimorfismo sexual, el macho es más pequeño que la hembra, posee una serie de manchas pardo-oscuras a negro en hileras longitudinales en el cuerpo y la aleta caudal, su cuerpo está compuesto por escamas cicloideas, dientes tipo cónicos curvos, presenta una barra ocular conspicua (Fig.17).

Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Phylum: Chordata

Clase: Osteichthyes

Orden: Cyprinodontoidei

Familia: Poeciliidae

Género: *Gambusia*

Especie: *G. yucatanana* Regan, 1914



Fig. 15 Ejemplares macho y hembra de *G. yucatanana* capturados durante lluvias (Foto Gómez-Hernández, 2020)



Fig. 16 Gonopodio de *G. yucatanana* (Foto Gómez-Hernández, 2020)

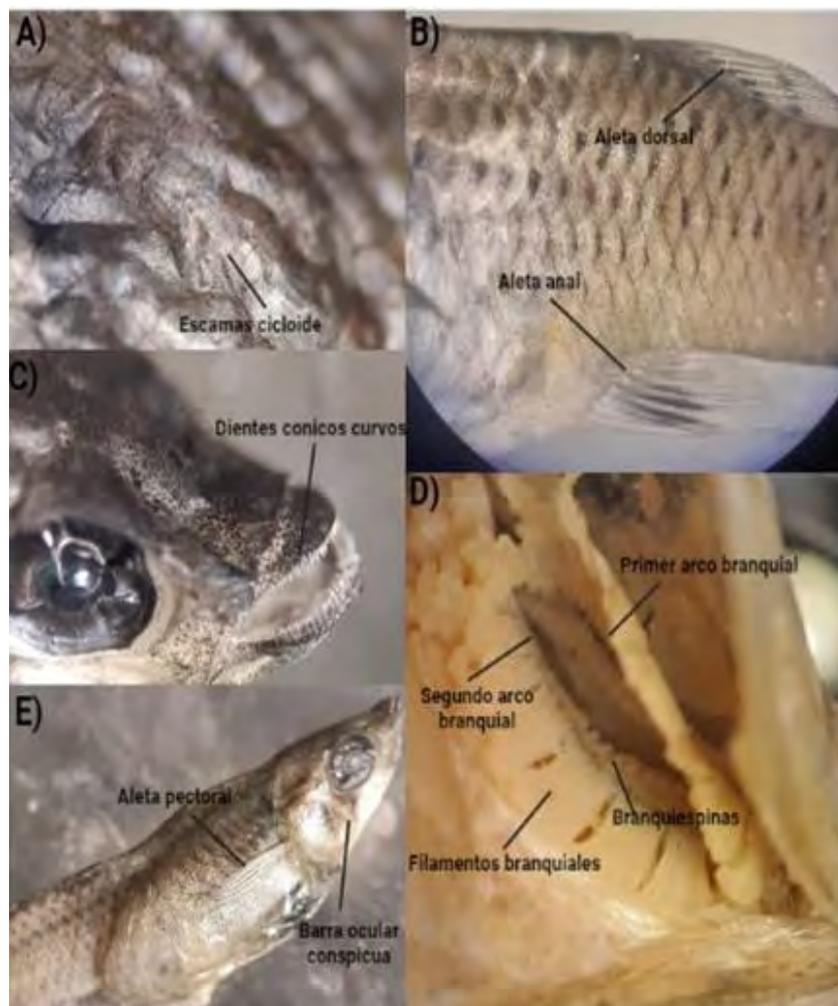


Fig. 17 Estructura general de *G. yucatanana* (Elaboración propia, foto Gómez-Hernández, 2020)

A continuación, se presentan las concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) en las cuales se ha reportado a *G.yucatanana* (Tabla 1).

Tabla 1. Concentración de oxígeno disuelto donde se ha registrado a *G.yucatanana*

Lugar	Tipo de cuerpo de agua	Concentración de oxígeno disuelto mg/L	Referencias
Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an	Zona costera	0.4 -7.41 (Promedio anual)	Mendoza <i>et al.</i> , 2019
	Cenote sin vegetación	2.00 (Secas) 1.50 (Lluvias)	Zembrano <i>et al.</i> , 2006
	Cenote con vegetación	7.30 (Secas) 5.20 (Lluvias)	
	Cenote temporal	3.20 (Lluvias)	
Cozumel, Quintana Roo	Cenote maravillas	11.5(secas) 3.7 (lluvias) 4.09 (nortes)	Vázquez Chicmul, 2017
Carrillo Puerto, Quintana Roo	Minicenote	1.3 a 9.64 (Secas y lluvias) 1.8 a 5.46 (nortes)	Cervantes-Martínez, 2005

Poecilia velífera

Se determinó la presencia de *P. velífera* (Fig.18) solo en el Cenote Ecología. De acuerdo con Schmitter-Soto (1998), esta especie igual se encontraba registrada para el Cenote Aerolito, sin embargo, no se capturó. Cabe resaltar que la presencia en el Cenote Ecología solo fue registrada durante la época de lluvias y nortes, siendo ausente durante el muestreo llevado a cabo en secas.

El género *Poecilia* se distingue de otros *Poeciliidae* por tener un gonopodio relativamente provisto por un capuchón a manera de prepucio (Fig.19) (Schmitter-Soto, 2006).

Es un pez de tamaño relativamente mediano, de longitud patrón máxima de 150 mm; su cabeza tiene forma de cuña y es de cuerpo alargado, como sucede normalmente con los poecilidos, en esta especie es particularmente alta.

La hembra suele ser más grande que el macho, posee ojos moderadamente grandes, la boca es supraterminal y pequeña. Existe dimorfismo sexual, los machos poseen una aleta dorsal ampliada para mostrar durante el cortejo femenino (Sa-nguansil, 2010). El

nombre de la especie está derivado del desarrollo de esta aleta, la aleta dorsal está compuesta de una serie de radios los cuales van de 16 a 21, rara vez 15.

La coloración es más intensa en los machos que en las hembras, consiste en series longitudinales de pequeñas manchas en tonos verdes y azules dispuestas sobre un fondo dorado; la parte inferior del cuerpo y la cabeza tiene anaranjado verdoso con brillos azules metálicos. (Schmitter-Soto,2016).

Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Phyllum: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Cyprinodontiformes

Familia: Poeciliidae

Género: *Poecilia*

Especie: *P. velifera* (Regan,1914)



Fig. 18 Ejemplares machos y hembras de *P. velifera* capturados durante nortes (Foto Gómez-Hernández,2020)



Fig. 19 Gonopodio de *P. velifera* (Foto Gómez-Hernández, 2020)

Bathygobius curacao

Pertenece a la familia *Gobiidae*, es una de las más diversas de grupos de peces teleósteos en el mundo, comprende más de 258 géneros y 1933 especies (Islam *et al.*, 2021).

El género de peces *Bathygobius* (Perciformes: *Gobiidae*) de acuerdo con Ferreira y Acero (1992) incluye numerosas especies distribuidas ampliamente en las áreas tropicales de los océanos Atlántico y Pacífico, pero restringidas a áreas poco profundas donde han colonizado todos los ambientes acuáticos protegidos, incluyendo las partes bajas de los ríos.

De acuerdo con Schmitter-Soto (1998), *B. curacao* (Fig. 20) es muy semejante a *B. soporator*, del cual se distingue por tener 15-18 radios pectorales (no 18-21) como se muestra en la figura 21 A y presenta de 31-34 escamas en una serie lateral (no 35-42). Además, la muesca de la lengua es más profunda. Puede medir hasta 8 cm de longitud patrón (LP).

Características comunes: cuerpo cubierto totalmente por escamas principalmente ctenoides (Fig. 21 D), que se extienden incluso sobre la nuca, cabeza deprimida, más ancha que alta; boca terminal, ligeramente oblicua; aletas pélvicas únicas (Fig. 21 C), con el margen posterior redondeado y las espinas conectadas entre sí por una

membrana, formando un disco ventral en forma de copa; aleta caudal redondeadas (Ferreira y Acero, 1992).

Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Phyllum: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Perciformes

Familia: Gobiidae

Género: *Bathygobius*

Especie: *B. curacao* (Metzelaar, 1919)

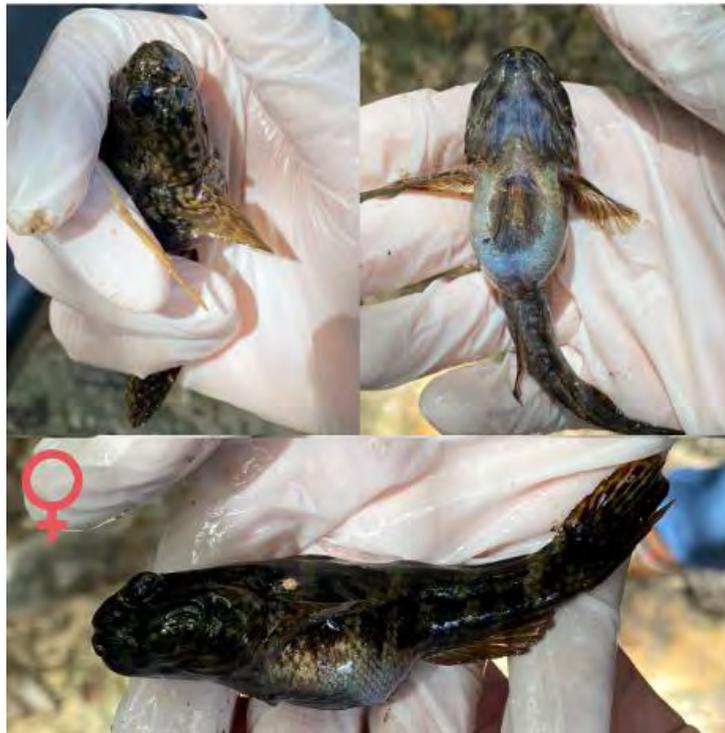


Fig. 20 Ejemplar hembra de *B. curacao* capturado durante lluvias (Foto Gómez-Hernández, 2020)



Fig. 21 Características generales de *B. curacao* (Foto Gómez-Hernández, 2020)

Como se observa en la Tabla 2, *B. curacao* se ha registrado en costas del Mar Caribe, Golfo de México, Océano Atlántico y recientemente Sharifuzzaman *et al.* (2021) aportó un nuevo registro de esta especie en pozas de marea de isla Martín, Bangladesh (Golfo de Bengala).

Sin embargo, para Quintana Roo, los estudios donde se ha registrado a esta especie son escasos, delimitando los registros a costas, arrecifes y lagunas, es decir, no existen registros de esta especie en cenotes y tampoco para Isla Cozumel. Por lo cual este sería el primer registro de esta especie para la isla, siendo esta la segunda especie del género *Bathygobius* en ser registrada en cuerpos de agua epicontinentales, Schmitter-Soto (1998) registró a *B. saporator* en las lagunas de la isla.

Tabla 2. Registros internacionales y nacionales de *B. curacao*

Registro internacional	Tipo de sistema acuático	Referencias
Panamá	Costas	Gorman <i>et al.</i> , 1976
Caribe colombiano	Regiones coralinas	Ferreira y Acero, 1992
Florida, Virginia Key y Key Biscayne	Lechos de pastos marinos poco profundos	Stadler, 2000
Belice	Atolón Turneffe	Nolan y Danilowicz, 2008
Venezuela, islas Tobago y Trinidad	Cuerpos de agua dulce	Phillip <i>et al.</i> , 2013
Bangladesh, isla Martin	Pozas de marea	Sharifuzzaman <i>et al.</i> , 2021
Registro México		
Norte de Veracruz	Arrecifes coralinos	Gándara, 2003
Mahahual, Q. Roo	Playa el Uvero	IBUNAM,S.F.
Puerto Morales, Q.Roo	Arrecife frontal	IBUNAM,S.F.
Felipe Carrillo Puerto, Q.Roo	Chemuyil, costas	IBUNAM,S.F.
Bacalar, Q. Roo	Laguna	Schmitter-soto, 1998
Parque Nacional arrecife de Puerto Morelos, Q. Roo	Laguna arrecifal	INE, 2000
Xcalak, Q. Roo	Parque nacional arrecifes de Xcalak (PNAX)	Solís Mena,2018

Los organismos capturados para la identificación durante este estudio fueron depositados en la colección ictiológica del ECOSUR, Chetumal, como se observa en la Tabla 3, se les fue asignado los siguientes números de catálogo.

Previamente fueron tomados los datos biométricos para el llenado del Anexo 1 y posteriormente estos fueron envasados y etiquetados en hoja de albanene (Anexo 2).

Tabla 3. Organismos depositados en la colección ictiológica del ECOSUR- Chetumal

No. Catálogo ECOSUR	Especie	No. ejemplares	No. colecta
8302	<i>G. yucatanana</i>	8	2
8303	<i>G. yucatanana</i>	10	6
8304	<i>G. yucatanana</i>	10	3
8305	<i>G. yucatanana</i>	10	5
8306	<i>G. yucatanana</i>	10	7
8307	<i>P. velifera</i>	5	8
8308	<i>G. yucatanana</i>	5	1
8309	<i>B. curacao</i>	1	4

Abundancia relativa

La temporada de lluvias tuvo mayor variación en sus porcentajes de abundancia relativa (Fig. 22), debido a la presencia de tres especies, registrando el Cenote Aerolito la presencia de dos especies (*B.curacao* y *G. yucatanana*) y el Cenote Ecología (*P.velifera* y *G. yucatanana*). Durante la temporada de nortes, únicamente se registraron 2 especies, siendo el Cenote Ecología el cual continuó con el registro de las dos especies anteriormente mencionadas. Sin embargo, para la época de secas, la abundancia relativa fue del 100% para la especie *G.yucatanana*, la cual mantuvo una dominancia a lo largo del estudio, siendo esta especie la única que se registró a lo largo de las 3 épocas y se tuvo mayor captura de organismos de esta especie. Por otra parte, la especie *B.curaco* únicamente fue registrada durante la época de lluvias, su abundancia relativa corresponde al 0.44 %.

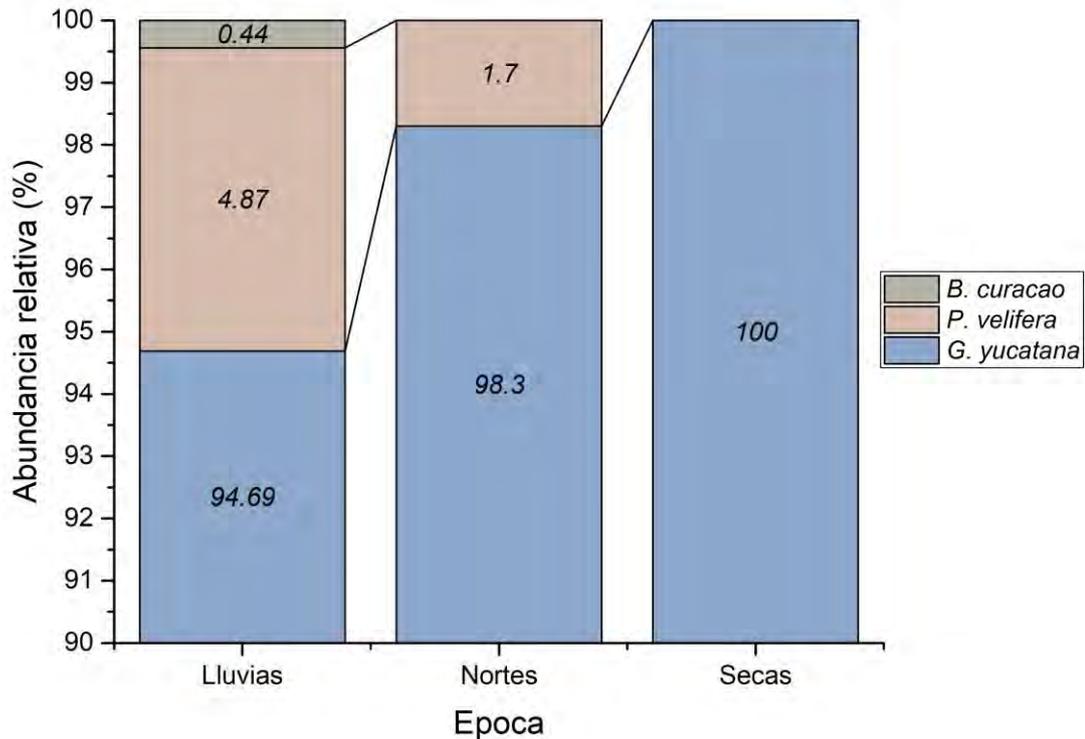


Fig. 22 Abundancias relativas en tres épocas climáticas

En cuanto a las abundancias relativas en cada sistema acuático (Fig.23), durante las tres épocas climáticas los cenotes caletita, muelle, maravillas y Uqroo presentaron 100% de abundancia relativa de la especie *G. yucatanana*, en el caso del cenote aerolito, durante lluvias (Fig. 23 A) presentó una abundancia del 98% para *G.yucatanana* y un 2% para *B.curacao*, para nortes y secas un 100% de *G.yucatanana*, por otra parte, el cenote ecología durante lluvias (Fig. 23 A) *G.yucatanana* registró 84% y 16% *P.velifera*, mientras que en nortes (Fig. 23 B) tuvo un 71% (*G.yucatanana*) y 29% (*P.velifera*).

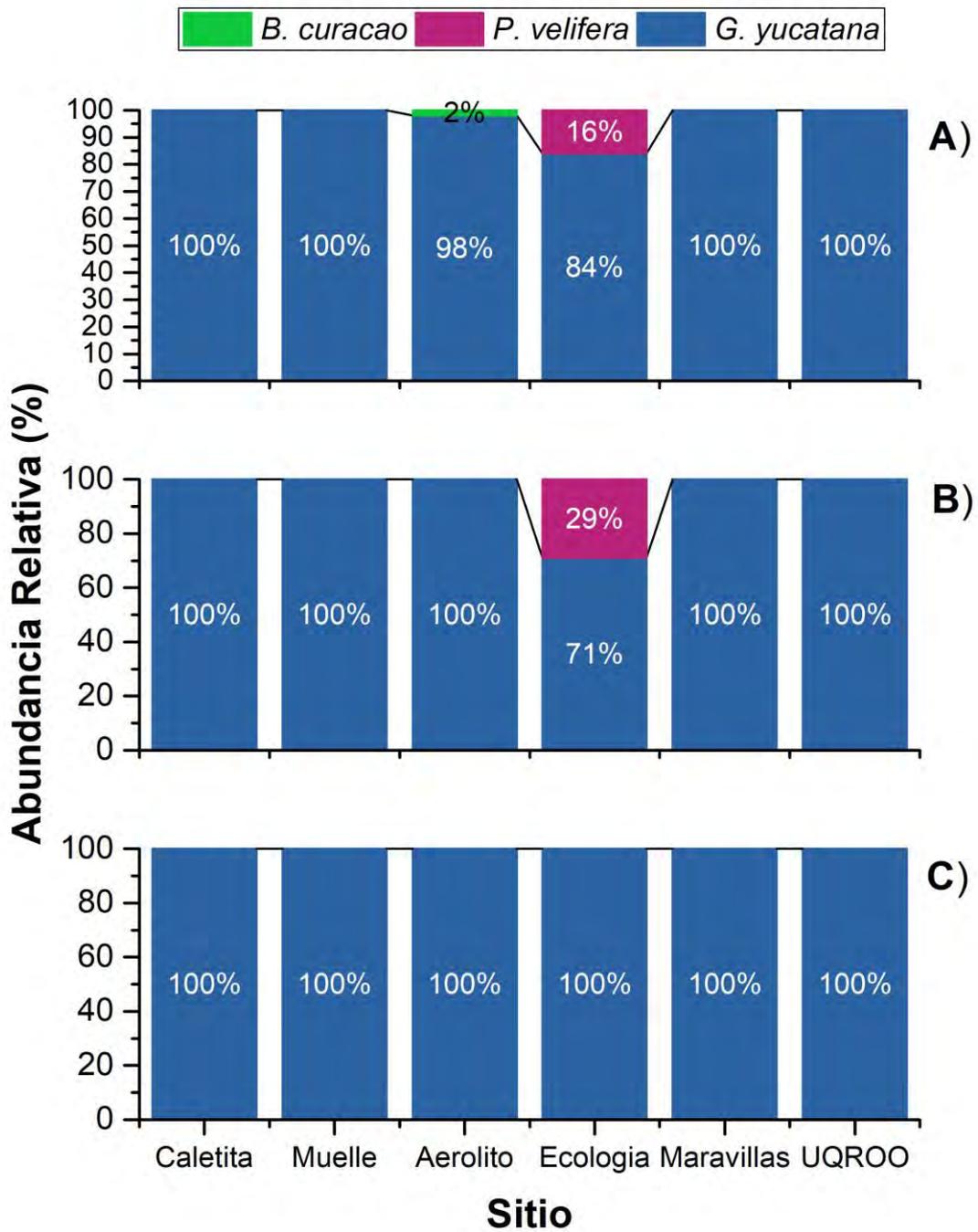


Fig. 23 Abundancia relativa de los seis cenotes durante las tres épocas climáticas A) Lluvias, B) Nortes, C) Secas

Índice de Shannon-Wiener (H')

El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad con base en dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Es una medida del grado de incertidumbre a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (Pla, 2006).

De manera general la diversidad, medida por medio del índice (Fig. 24) de Shannon-Wiener (H') durante las tres épocas climáticas sus valores fueron inferiores a los 2 bits/ind, por lo cual se observó que su comportamiento en los valores obtenidos fue bajo, presentando sus valores máximos en lluvias y los mínimos en secas.

Índice de Simpson (J')

Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad. Toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies (Moreno, 2001).

Para este índice los valores (Fig. 24) no tuvieron ninguna variación, presentando valores cercanos a 1 a lo largo de las tres épocas climáticas que abarco el estudio. Este índice estaría indicando que existe un menor índice de biodiversidad, debido a la dominancia de una especie.

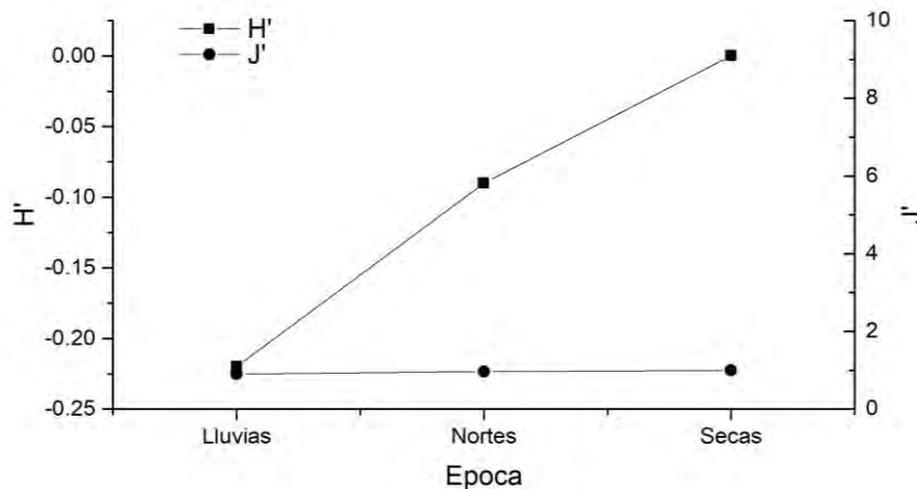


Fig. 24 Índice de Shannon Wiener (H') e índice de Simpson (J') de tres épocas climáticas

En cuanto al índice de Simpson durante lluvias en todos los cenotes (Fig.25) a excepción de los cenotes Aerolito y Ecología tuvieron valores de 0.95 y 0.51 respectivamente, el resto de los cenotes presentaron valores de 1. Durante nortes, el único cenote que presentó valores lejanos a 1 fue el cenote Ecología con 0.52,

teniendo valores similares a los presentados durante lluvias, los demás cenotes tuvieron valores de 1 durante nortes. En secas, todos los cenotes tuvieron valores de 1.

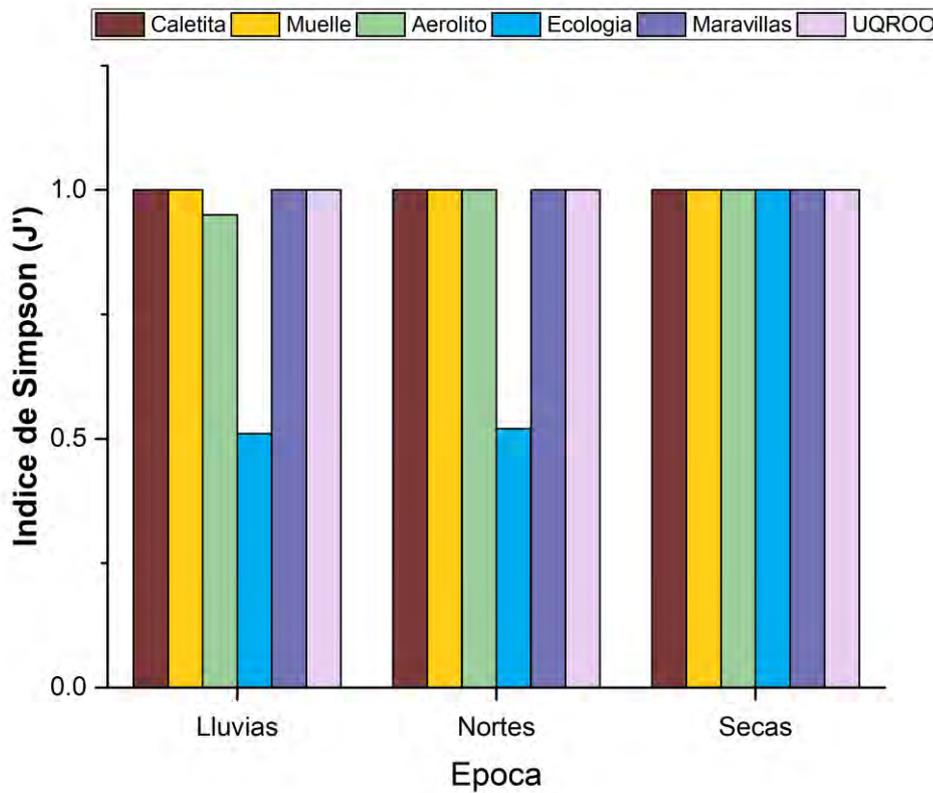


Fig. 25 Índice de Simpson (J') en tres épocas climáticas

Los valores del índice de Shannon (Fig.26) en la mayoría de los cenotes en lluvias, secas y nortes fueron los mismos (0), los únicos cenotes en tener valores diferentes fue el cenote Ecología en lluvias (-0.69), secas (-0.67) y el Aerolito en lluvias (-0.11).

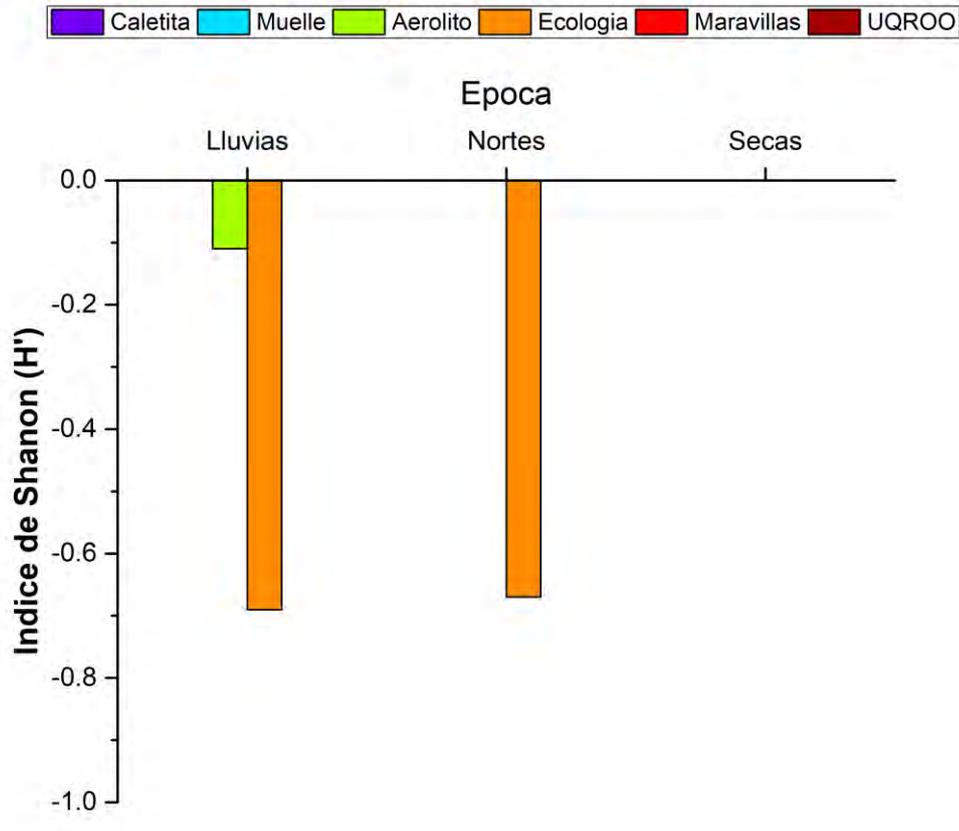


Fig. 26 índice de Shanon (H') en tres épocas climáticas

Captura por unidad de esfuerzo (CPUE)

De manera general la CPUE (Fig. 27) presentó un pico durante lluvias en el Cenote Maravillas, siendo este el valor máximo de todo el estudio, mientras que los valores más bajos se registraron en los cenotes Caletita, Muelle, Ecología y UQROO, siendo el Cenote Caletita y Muelle los que durante los tres muestreos realizados tuvieron los niveles más bajos.

Cenote Caletita

En lluvias se registraron los valores más bajos de CPUE con un promedio general de 0.4 ± 0.52 (Organismos/minutos) (Tabla 4). Durante nortes se observó un aumento, siendo en esta época de mayor captura a comparación con las demás, el promedio general de CPUE fue de 0.90 ± 1.31 (Tabla 4). Por otra parte, en secas (Tabla 4) se observó un descenso de los valores, el promedio de CPUE fue de 0.83 ± 1.03 .

Tabla 4. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Caletita durante tres épocas climáticas

Época	CPUE (Organismos/minutos)
Lluvia	1
Lluvia	0.1
Lluvia	0.1
Promedio	0.4 ± 0.52
Suma	1.2
Nortes	0.6
Nortes	2.83
Nortes	0.13
Nortes	0.06
Promedio	0.90 ± 1.31
Suma	3.61
Secas	2
Secas	0.42
Secas	0.07
Promedio	0.83 ± 1.03
Suma	2.48

Cenote Muelle

Para la época de lluvias, en la tabla se observan los valores obtenidos, sin embargo, solo existe un dato, por lo cual no se presenta ni el promedio ni la suma. El valor obtenido de CPUE fue de 0.55 ± 0.21 (Tabla 5). En nortes, el promedio general de CPUE fue de 0.55 ± 0.21 (Tabla 5). Para secas de igual manera que en lluvias, solo se obtuvo 1 dato por lo cual no se presenta ni suma ni promedio de los datos, siendo en esta época con valores más bajos del CPUE 0.1 (Tabla 5).

Tabla 5. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Muelle durante tres épocas climáticas

Época	CPUE (Organismos/minutos)
Lluvia	0.62
Nortes	0.4
Nortes	0.7
Promedio	0.55 ± 0.21
Suma	1.1
Secas	0.1

Cenote Aerolito

En lluvias el promedio general del CPUE fue de 1.73 ± 1.03 (Tabla 6), por otra parte, en nortes el promedio general del CPUE fue de 4.14 ± 5.45 (Tabla 6), durante esta época se obtuvo el mayor valor de CPUE de las tres épocas climáticas. Para secas los valores promedio general de CPUE fueron los más bajos registrados de los tres muestreos realizados, teniendo valores de 1.41 ± 0.84 (Tabla 6).

Tabla 6. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Aerolito durante tres épocas climáticas

Época	CPUE (Organismos/minutos)
Lluvia	1
Lluvia	2.45
Promedio	1.73 ± 1.03
Suma	3.45
Nortes	0.29
Nortes	8
Promedio	4.14 ± 5.45
Suma	8.29
Secas	2
Secas	0.81
Promedio	1.41 ± 0.84
Suma	2.81

Cenote Ecología

Durante lluvias, se registró el valor promedio más alto de las tres épocas muestreadas teniendo un promedio de CPUE fue de 4.79 ± 0.71 (Tabla 7). Para nortes, los valores promedio de CPUE disminuyeron a 0.63 ± 0.33 (Tabla 7), De igual manera en secas los valores promedio de CPUE continuaron disminuyendo, llegando a sus valores mínimos en esta época de 0.2 ± 0.1 (Tabla 7),

Tabla 7. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Ecología durante tres épocas climáticas

Época	CPUE (Organismos/minutos)
Lluvia	4.29
Lluvia	5.29
Promedio	4.79 ± 0.71
Suma	9.57
Nortes	0.87
Nortes	0.4
Promedio	0.63 ± 0.33
Suma	1.27
Secas	0.3
Secas	0.2
Secas	0.1
Promedio	0.2 ± 0.1
Suma	0.6

Cenote Maravillas

Durante lluvias los valores promedio de CPUE fue de 3.23 ± 3.50 (Tabla 8), para nortes, durante esta época se obtuvo el valor más alto de todos los cenotes muestreados durante las tres épocas, siendo registrado en este cenote el valor máximo (CPUE) de 6.77 ± 1.35 (Tabla 8). En secas el promedio general de CPUE fue de 1.85 ± 0.44 (Tabla 8) siendo este el valor mas bajo registrado para este cenote.

Tabla 8. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote Maravillas durante tres épocas climáticas

Época	CPUE (Organismos/minutos)
Lluvia	0.75
Lluvia	5.7
Promedio	3.23 ± 3.50
Suma	6.45
Nortes	5.82
Nortes	7.73
Promedio	6.77 ± 1.35
Suma	13.55
Secas	1.54
Secas	2.15
Promedio	1.85 ± 0.44
Suma	3.69

Cenote UQROO

Durante lluvias, se tuvo valor promedio de CPUE de 6 ± 5.19 (Tabla 9), por otra parte, en nortes, los valores promedio de CPUE fue de 0.58 ± 0.12 (Tabla 9) siendo este valor el más bajo de los registrados para este cenote durante los tres muestreos. Mientras que secas los valores promedio de CPUE se observó un aumento siendo durante esta época donde se registraron los valores promedio más altos de 6.5 ± 2.12 (Tabla 9).

Tabla 9. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) del cenote UQROO durante tres épocas climáticas

Época	CPUE (Organismos/minutos)
Lluvia	9.67
Lluvia	2.33
Promedio	6 ± 5.19
Suma	12
Nortes	0.67
Nortes	0.5
Promedio	0.58 ± 0.12
Suma	1.17
Secas	8
Secas	5
Promedio	6.5 ± 2.12
Suma	13

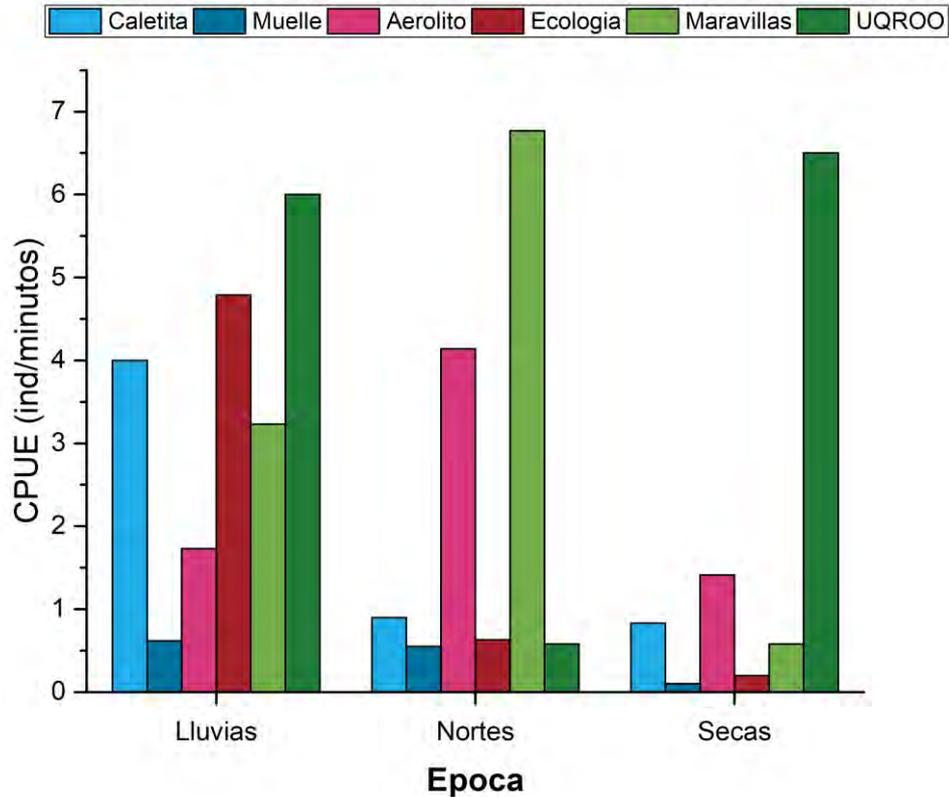


Fig. 27 CPUE de los seis cenotes durante las tres épocas climáticas

Parámetros físicos y químicos

Temperatura

Los valores más altos registrados fueron durante lluvias (Fig.28 A), esto en todos los cenotes a excepción del Cenote Caletita, el cual durante esta época presentó valores bajos, mientras que los cenotes, Muelle, Aerolito, Maravillas y UQROO tuvieron un comportamiento similar entre ellos. En nortes los valores disminuyeron considerablemente para todos los cenotes. Durante secas los valores siguieron una tendencia de disminución, a excepción del Cenote Maravillas el cual a diferencia de los demás cenotes presentó un aumento en sus valores de temperatura. El Cenote Ecología tuvo valores similares en secas a los presentados en el Cenote Maravillas en nortes.

Como se observa en la tabla 10, los sistemas de manera general presentaron valores de 28 °C a excepción del Cenote Caletita (con valores de 24.87 °C) y el Cenote Ecología (27 °C). Durante nortes se puede observar la disminución de temperatura,

siendo el Cenote Caletita (25.4 °C) el único que presentó un aumento de temperatura a la registrada en lluvias. Para la época de secas los valores siguieron la tendencia de disminución, a diferencia del Cenote Maravillas (27.87 °C) en el cual se registró el valor máximo de temperatura durante secas.

Tabla 10. Valores promedio de temperaturas (°C)

Cenote	Lluvias	Nortes	Secas
Caletita	24.87	25.4	24.9
Muelle	28	27	26
Aerolito	28	26	26
Ecología	27	25	25
Maravillas	28	25	27.87
UQROO	28	26	25.4

Saturación de oxígeno

En la Fig.28 D se muestran los valores de esta variable, en general los valores registrados, mostraron los porcentajes más altos durante la época de lluvias, siguiendo una tendencia de disminución para la época de nortes, siendo esta época donde se presentaron los niveles más bajos de todo el estudio, presentando un aumento durante secas, sin embargo, durante esta época en el Cenote Maravillas se registraron los valores más altos de todo el estudio.

Como se mencionó con anterioridad los valores más altos fueron durante lluvias sin embargo como se observa en la tabla 11, fueron dos cenotes los que presentaron niveles más altos para esta época, el Cenote Muelle con 51.3 % y el Cenote Aerolito con 63%, por otra parte, cabe resaltar que el Cenote Caletita fue el que presentó niveles bajos durante las tres épocas con un máximo de 4.8 % en lluvias y un mínimo de 1.6 % durante secas.

Tabla 11. Valores promedio de saturación de oxígeno (%)

Cenote	Lluvias	Nortes	Secas
Caletita	4.8	1.73	1.6
Muelle	51.3	2	3
Aerolito	63	31	33
Ecología	23	4	17
Maravillas	26	8	73.2
UQROO	30	18	11.8

Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto (Fig. 28 B) mostraron sus valores más altos durante lluvias con una tendencia al decremento pasando de lluvias a nortes, encontrando en esta época las concentraciones más bajas, incrementando sus valores para secas.

Específicamente en los sistemas (Tabla 12), el Cenote Caletita registró los valores más bajos durante las tres épocas climáticas que abarcó el estudio, presentando las concentraciones más bajas en secas (0.11 mg/L) por otra parte, el Cenote Maravillas (5.45 mg/L) fue el cenote con las concentraciones más altas de todo el estudio las cuales fueron registradas durante secas.

Tabla 12. Valores promedio de oxígeno disuelto (mg/L)

Cenote	Lluvias	Nortes	Secas
Caletita	0.29	0.12	0.11
Muelle	3.86	0.14	0.24
Aerolito	4.19	2.07	2.31
Ecología	1.73	0.23	0.85
Maravillas	3.13	0.62	5.45
UQROO	2.33	1.48	0.95

Conductividad y salinidad

La conductividad y salinidad son variables que se relacionan entre sí, por lo tanto, el comportamiento entre ellas es similar (Cervantes-Martínez, 2005). En la Fig. 28 E, se muestran los datos de conductividad, en cuanto a los valores más altos se presentaron en la época de secas, dichos valores tuvieron una tendencia de crecimiento en algunos cenotes (Muelle y Maravillas) durante el paso de las tres épocas climáticas alcanzando niveles máximos de 1667 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 422.53 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, como se observa en la Tabla 13 a diferencia de los cenotes anteriormente mencionados, los cenotes Caletita, Aerolito, Ecología y UQROO registraron una disminución en sus valores durante la época de nortes, de manera general el Cenote Aerolito registró los niveles más altos de los seis cenotes de estudio.

Tabla 13. Valores promedio de conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$

Cenote	Lluvias	Nortes	Secas
Caletita	16814.67	10986.33	15823
Muelle	941.67	1535.33	1667
Aerolito	37426.00	30594.33	33395
Ecología	1287.00	12074.33	15495
Maravillas	290.40	297.90	422.53
UQROO	3343.00	2336.67	3640

En cuanto a la salinidad, se presentan en la Fig. 28 C, los valores más altos se registraron durante lluvias, específicamente en los cenotes Caletita y Aerolito, sin embargo, los cenotes Ecología y UQROO presentaron valores inferiores a los registrados en nortes y secas. Por otra parte, los cenotes Muelle y Maravillas presentaron un comportamiento similar entre si durante las tres épocas climáticas

Como se observa en la Tabla 14, el Cenote Aerolito presentó los valores más altos durante las tres épocas climáticas, siendo su valor máximo de 25 ppt en lluvias y su mínimo de 18.47 ppt en nortes, por otra parte, el Cenote Caletita presentó un comportamiento similar al Aerolito, presentando sus valores más altos en lluvias (13 ppt) y sus mínimos (6.17 ppt) en nortes y en secas ambos presentaron un incremento sin superar los valores registrados en lluvias. Los cenotes Muelle y Maravillas no tuvieron variaciones en ninguna de las tres épocas climáticas registraron valores de 0, sin embargo, el comportamiento del Cenote Ecología y el Cenote UQROO, siguió una tendencia de incremento, presentando sus valores mínimos en lluvias y los máximos en secas.

Tabla 14. Valores promedio de salinidad (ppt)

Cenote	Lluvias	Nortes	Secas
Caletita	13	6.17	9.25
Muelle	0	0	0
Aerolito	25	18.47	20
Ecología	0.62	6.86	10
Maravillas	0	0	0
UQROO	0	1.18	1.9

pH

Los valores más altos se registraron durante la época de lluvias (Fig. 28 F) a excepción del Cenote Muelle donde los valores fueron similares en nortes y el Cenote Maravillas, donde los valores registraron en secas fueron superiores, siendo este valor el más alto de los demás cenotes de las tres épocas climáticas, por otra parte, los

valores más bajos fueron registrados en el Cenote Caletita durante secas. Los cenotes Aerolito y Muelle presentaron valores similares durante nortes y secas.

Como se observa en la Tabla 15, los valores de Caletita, fueron descendiendo con el pasar de las épocas climáticas alcanzando sus valores máximos en lluvias (8.14), y sus mínimos en secas (6.89), de igual manera los cenotes, Muelle, Aerolito, Ecología y UQROO los cuales siguieron la misma tendencia durante la transición de las épocas, siendo más notoria la del Cenote Caletita, por otra parte el Cenote Maravillas tuvo un comportamiento diferente, el cual presentó sus valores máximos durante secas (8.95) y sus mínimos en nortes (8.27).

Tabla 15. Valores promedio de pH

Cenote	Lluvias	Nortes	Secas
Caletita	8.14	7.72	6.89
Muelle	7.91	7.82	7.62
Aerolito	8.27	7.7	7.76
Ecología	8.63	7.96	7.95
Maravillas	8.84	8.27	8.95
UQROO	8.77	7.96	7.82

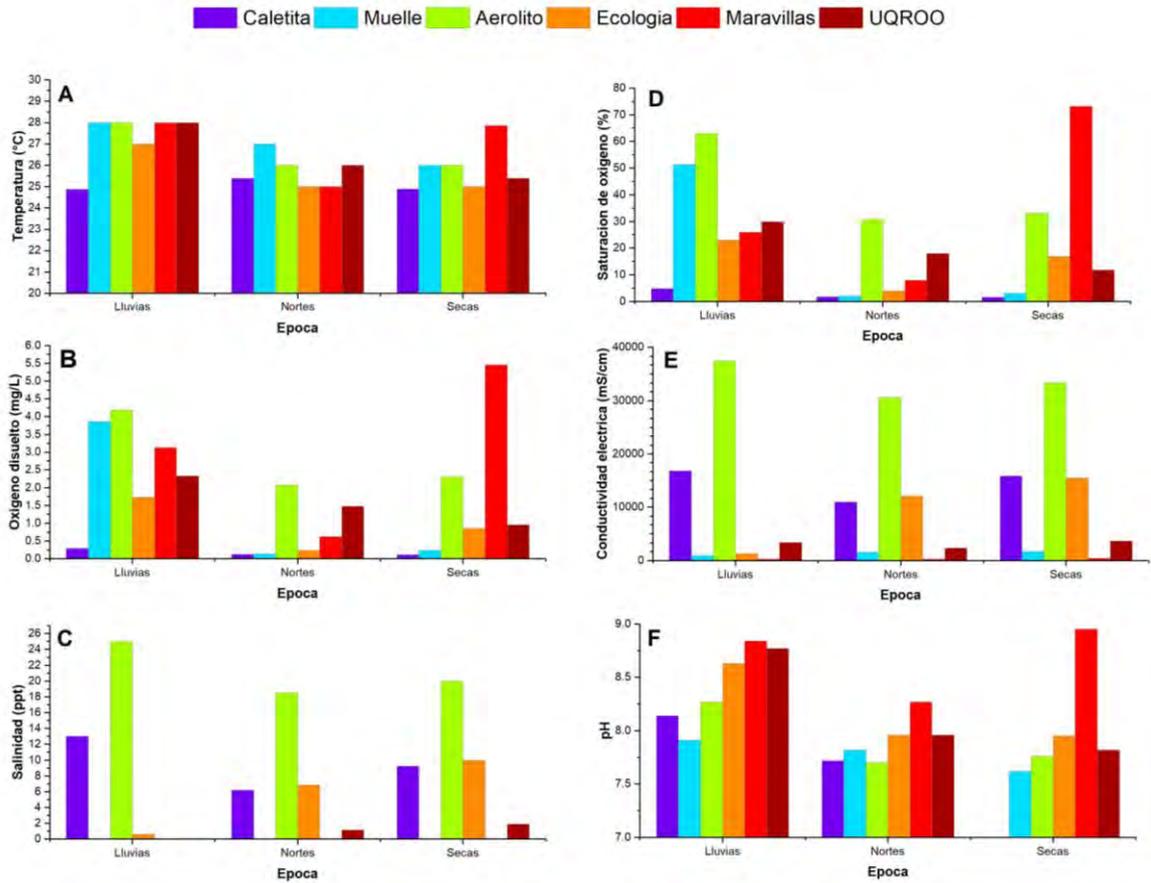


Fig. 28 Variables fisicoquímicas de seis cenotes durante tres épocas climáticas

DISCUSIÓN

Identificación de especies

Se han registrado alrededor de 17 especies de peces en aguas interiores de islas mexicanas, de las cuales 11 son dulceacuícolas dentro del grupo de peces secundarios de acuerdo con la clasificación de Schmitter-Soto (1998) y Miller *et al.* (2009), el resto de especies pertenecen a especies estenohalinas del componente marino (Castro-Aguirre *et al.*, 1999).

En la Península de Yucatán la ictiofauna se caracteriza por estar compuesta principalmente de especies dulceacuícolas secundarias, estuarinas o periféricas (Lopez-Vila, 2013).

Dos especies registradas (*G. yucatanana* y *P. velifera*) en este estudio pertenecen al grupo de peces secundarios, el cual incluye a las especies de agua dulce que tienen capacidad osmorreguladora, en diversos grados para tolerar por tiempos variables los ambientes marinos (Castro-Aguirre *et al.*, 1999)

Por otra parte, *B. curacao*, pertenece al grupo de peces diádromos, en la categoría de anádromas, es decir, especies que realizan migraciones desde el mar hacia el medio dulceacuícola (Castro-Aguirre *et al.*, 1999). Así mismo, requiere de aguas continentales y marinas para completar su ciclo de vida (Schmitter-Soto, 1998).

G. yucatanana es común en toda la Península de Yucatán, incluso cenotes tierra adentro, similar a lo encontrado en este trabajo debido a que se registró en tres cenotes de la zona urbana que se encuentran alejados de la costa, coincidiendo con lo mencionado por Schmitter-Soto (2020). Es una especie de estirpe dulceacuícola eurihalina; incluso se conocen poblaciones marinas, su distribución se extiende también hacia Veracruz, Tabasco, así como en el Petén guatemalteco y Belice (Schmitter-Soto, 2007).

Los huracanes se han utilizado como hipótesis del posible factor de colonización de *Gambusia* en estos cenotes aislados, debido a su naturaleza vivípara, bastaría que una hembra grávida llegara con vida. Sin embargo, este mecanismo sería erróneo de aplicarse por ir en sentido contrario a la trayectoria habitual de los ciclones, a la colonización de la Isla, por lo que no se puede descartar que su introducción haya sido antropogénica (Schmitter-Soto, 2007).

Además, presenta una alta facilidad para colonizar ambientes extremos de salinidad, temperatura y concentración de oxígeno disuelto (Schmitter-Soto *et al.*, 2002; Torres Castro, 2005), La mínima concentración ha sido de 0.4 mg/L y la máxima de 11.5 mg/L, dado los rangos mínimos, esta especie se puede considerar extremófila, de acuerdo con Gupta *et al.* (2014) se considera extremófilo a un organismo que prospera e incluso puede resistir físicamente a condiciones extremas que son perjudiciales o letales para la mayoría de los organismos (Tabla 12)

P. velifera ha sido reportado como ampliamente tolerante a la salinidad, así mismo se puede encontrar en aguas dulces, salobres e incluso marinas. Schmitter-Soto (2007) menciona a esta especie como endémica de la franja costera de la Península de Yucatán y sus islas. Sa-nguansil y Lheknim (2010) reportaron el establecimiento de una población introducida de *P. velifera* en el lago Songkhla Basin, Tailandia. Su presencia en este sistema no parece tener una explicación, teniendo como hipótesis, que esta haya sido introducida por los residentes cercanos al lago, como control de algas en sus estanques de camarones o como control biológico de mosquitos. Por lo cual, se le considera actualmente como endémico de la Península de Yucatán en su parte mexicana debido al establecimiento introducido de poblaciones en otros sitios (Schmitter-Soto, 2020).

Las especies de la familia *Gobiidae* son pequeñas, habitan preferentemente cerca de la orilla, marinas, salobres y ocasionalmente de agua dulce, la mayoría se localizan en áreas tropicales y subtropicales (Ayala-Pérez *et al.*, 2015).

Por otra parte, *B. curacao* fue descrito en el Mar Caribe de Panamá, Colombia, Belice y Venezuela en cuerpos de agua dulce (Gorman *et al.*, 1976; Ferreira y Acero, 1992; Nolan y Danilowics, 2008; Phillip *et al.*, 2013).

Dicha especie, ha sido registrada en arrecifes coralinos del norte de Veracruz (Gándara, 2003). Para la parte de Quintana Roo se registró por primera vez en la laguna de Bacalar (Schmitter-Soto, 1998), posteriormente fue registrada en Mahahual, Puerto Morelos, Felipe Carrillo Puerto (IBUNAM,S.F.; INE,2000), siendo el reporte más reciente en Xcalak (Solís Mena, 2018). Sin embargo, no se encontró registro de esta especie en cenotes, por lo cual, este sería el primer registro de la especie para Isla Cozumel y en este tipo de sistema acuático (Cenote Aerolito). Los valores de salinidad registrados en este estudio para este cenote se encuentran dentro del rango donde ha sido descrita esta especie (0 a 36.5 ppt.) reportado por Castro-Aguirre *et al.*, (1999).

B. curacao fue clasificada como especie anfiamericana (Castro-Aguirre *et al.*, 1999) debido a ocupar ambas costas del continente americano, generalmente tanto en las

zonas tropicales como templadas. Actualmente su distribución se ha expandido a Bangladesh, siendo registrada en pozas de marea de la isla Martín (Sharifuzzaman *et al.*, 2021).

La actualización de revisiones taxonómicas toma relevancia con los nuevos hallazgos que se han encontrado en los últimos años, la taxonómica es una ciencia que continuamente se encuentra en constante actualización, como es en el caso, de lo descrito por Schmitter-Soto (2017) en el cual, tras una revisión de 80 poblaciones del género *Astyanax*, de las cuales se habían englobado en una sola especie (*A. aeneus*), describió 9 nuevas especies. Considerando estos hallazgos se consideraría de gran relevancia el revisar especies del género *Gambusia* y *Rhamdia*

Abundancias relativas

Las especies de peces se adaptan a las fluctuaciones del agua tanto estacionales e interanuales. Durante los cambios, los peces responden a estrategias biológicas o adaptaciones, aumentando o disminuyendo su abundancia.

Por ejemplo, en el presente estudio, *P. velifera* disminuyó su abundancia relativa en el Cenote Ecología a valores de cero, es decir, no se capturó a esta especie durante secas (Fig.22) lo cual coincide con lo reportado por Torres Castro (2005) aumentando su abundancia a finales de la época de secas, coincidiendo con la época de reproducción.

G. yucataana se registró en los seis cenotes del presente estudio, siendo la especie dominante por su abundancia. Schmitter-Soto, (1998) la reportó como la especie más frecuente y abundante en casi el 75% de los sitios visitados en el estado de Quintana Roo. De igual manera Arceo-Carranza *et al.* (2016) registraron a esta especie como dominante en más del 75% en Progreso, Yucalpetén y Celestún.

Cabe resaltar que *B. curacao*, únicamente fue registrada durante la época de lluvias en el Cenote Aerolito y se capturó un solo organismo. Solís Mena (2018), capturó un total de 2428 organismos de la familia Gobiidae, de los cuales diez fueron de *B. curacao*, por lo cual su abundancia relativa correspondió al 0.25% con una frecuencia de 4. Es decir, esta especie tuvo una abundancia baja, similar a la encontrada en el presente estudio (0.44%).

Índice de Shannon Wiener (H')

Los valores del índice de Shannon más altos registrados en este estudio correspondieron a lluvias, dentro de esta época se registró la presencia de las tres especies anteriormente mencionadas, mientras que el mínimo (0) en secas, esto debido a la abundancia relativa del 100% de la especie *G. yucatanana* para esa época. El aumento o disminución de los valores, puede deberse a dos razones; 1) el aumento o disminución en la riqueza de las especies y/o, 2) coincidiendo con lo mencionado por Carmona-Galindo y Carmona (2013) donde existe un aumento o disminución en la equitatividad de la representación de la abundancia relativa de especies.

En comparación con otros estudios realizados en la parte continental, los valores obtenidos fueron bajos, Castillo-Domínguez *et al.*(2015) registraron valores mínimos de 1.56 y máximos de 2.52, en comparación a los obtenidos en este estudio, donde todos los cenotes tuvieron valores de 0 a excepción de cenote Aerolito en lluvias (-0.11) y ecología en lluvias (-0.69) y nortes (-0.67).

Índice de Simpson (J')

El índice de dominancia de Simpson adquiere resultados entre 0 a 1, donde los valores más cercanos a 1, se explican por la dominancia de una especie, sobre la de los demás (Campo y Duval, 2014). Los valores obtenidos en el presente estudio fueron cercanos a 1, siendo el más lejano durante lluvias (0.97) y en secas se obtuvo el valor de 1, estos valores fueron correlativos a los de índice de Shannon, demostrando la baja diversidad y la alta dominancia de una especie en los cenotes de muestreo.

De manera general los valores obtenidos en este estudio en comparación con otros estudios similares en la parte continental fueron bajos, Castillo-Domínguez *et al.*(2015) en los sitios que realizaron muestreo tuvieron valores mínimos de 0.11 y los más altos de 0.38, siendo estos lejanos a 1, mostrando una gran diversidad de especies y que no existieron dominancias significativas de ninguna especie, mientras que en este estudio, los valores mínimos obtenidos fueron en algunos cenotes de 0.51 y el máximo 0.95, para el resto de cenotes 1.

Variables físicas y químicas

Debido a su carácter costero y poca elevación sobre el nivel del mar, la mayoría de los cenotes que se encuentran son de tipo cueva, encontrándose totalmente inundados de agua y, en algunos casos, conectados subterráneamente con las aguas marinas costeras por medio de conductos (Yañez-Mendoza *et al.*, 2008).

Gutiérrez-Aguirre *et al.* (2008) clasificaron al Cenote Aerolito dentro del grupo de cenotes con fuerte influencia del mar. Por medio de estos sistemas, el acuífero se está drenando desde el interior hasta el mar. Derivado de su influencia de corrientes subterráneas el sistema se puede oxigenar, debido al movimiento del agua (sistemas lóticos) de acuerdo con Schmitter-Soto *et al.* (2002) lo cual pudiese explicar los registrados durante secas.

En cuanto a Caletita, los valores de oxígeno disuelto y temperatura registrados en este estudio coinciden con los reportados por Sánchez *et al.* (2015), dichos valores corresponden a los típicos encontrados en aguas subterráneas. Sánchez *et al.* (2015) reportaron temperaturas promedio de 25 °C. Mientras que, el oxígeno disuelto tuvo valores de anoxia. En este mismo sentido, el cenote Ecología, Muelle y UQROO, presentaron valores similares correspondientes a aguas subterráneas, con bajas concentraciones de oxígeno y temperaturas bajas.

Las concentraciones de oxígeno disuelto presentaron los valores más altos durante lluvias y secas en la mayoría de los cenotes, a excepción del Cenote Caletita y UQROO los cuales tuvieron concentraciones más altas en nortes, este comportamiento coincide con lo reportado por Cervantes-Martínez *et al.* (2009) en el cenote Azul, ubicado en el sur de Quintana Roo.

El cenote Maravillas presentó valores altos en secas, coincidiendo con lo reportado por Vázquez-Chicmul (2017), estos valores pudieran deberse a la baja profundidad (<1 m) la cual derivada de la acción del viento este puede promover la oxigenación de este (Cervantes-Martínez, 2005) anudado también a la alta productividad fotosintética debido al color café-verdoso de sus aguas.

Cabe resaltar que solo el Cenote Maravillas cumplió durante secas con los Criterios Ecológicos para la Protección de la Vida Acuática (5mg/L) (DOF, 1989), mientras que el resto de los cenotes no cumplió con este criterio en ninguna de las épocas climáticas estudiadas.

Las aguas presentes en los cenotes de isla Cozumel, contienen altas concentraciones de salinidad, principalmente en las porciones más profundas (Yáñez-Mendoza *et al.*, 2008) y cercanos a la costa generalmente.

El Cenote Aerolito presentó valores de aguas salobres superficiales polihalinas (18 a 30), Yáñez-Mendoza *et al.* (2008) reportaron rangos similares a los de este estudio en aguas superficiales, y por debajo de los 7 m de profundidad con salinidades similares a las encontradas en las aguas marinas dentro del sistema de cavernas de este cenote. El Cenote Caletita a pesar de igual tener conexión con el mar, sus valores fueron inferiores a los Cenote de Aerolito, de acuerdo con Urenda (2016), presentan valores correspondientes a aguas salobres mesohalinas (4 a 18 ppm).

El Cenote Muelle por sus valores de salinidad presentados en todo el estudio fue clasificado como sistema de agua dulce (Urenda, 2016), lo cual probablemente nos estaría indicando que, a pesar de ser cenote cercano a la costa (Fig.14), este no tiene conexión con el mar.

Los valores de conductividad y salinidad reflejan que el Cenote Maravillas es un sistema de agua dulce, de acuerdo con lo reportado en este sistema acuático y para otros cenotes de la Península de Yucatán (Cervantes-Martínez, 2005; Vázquez-Chicmul, 2017).

Por otra parte, durante lluvias el cenote UQROO presentó valores correspondientes a agua dulce (0) sin embargo este valor se puede deber a un error de medición con la sonda debido a que los valores de conductividad no coinciden con los valores correspondientes al agua dulce (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), durante nortes y secas los valores tendieron hacia aguas oligohalinas (0.5 a 4).

En este mismo sentido, el Cenote Ecología, en lluvias presentó valores de aguas oligohalinas, sin embargo, para nortes y secas sus valores pertenecieron a aguas salobres mesohalinas. El contenido de sales en este tipo de cuerpos de agua se puede explicar por: 1) la influencia de la disolución de la roca caliza por parte de las aguas meteóricas (Yáñez-Mendoza *et al.*, 2008), 2) la intrusión salina de agua marina, por conductos y a través de la matriz de roca porosa (Yáñez-Mendoza *et al.*, 2008; Perry *et al.*, 2009; Pérez-Ceballos *et al.*, 2021) la cual ha sido reportada en la zona sur del anillo de cenotes, el nororiente de la sierrita de Ticul, Celestún y Dzilam Bravo.

El pH para la mayoría de los cenotes presentó valores característicos de aguas neutras a básicas, estos valores han sido registrados de igual manera para cenotes de

Cozumel y Playa del Carmen (Yáñez-Mendoza *et al.*, 2008; Gutiérrez-Aguirre *et al.*, 2008; Rivero, 2015; Sánchez *et al.*, 2015).

Sin embargo, el Cenote Caletita durante secas presentó valores ligeramente ácidos (<7), este valor ha sido registrado generalmente para cenotes de la Península de Yucatán (Perry *et al.*, 2002). De igual manera, Cervantes-Martínez (2005) reportó en época y estratos con menor productividad, una tendencia del pH hacia la neutralidad o incluso la ligera acidez. Además, estos valores pueden deberse a que el acuífero está conformado por rocas ricas en carbonato de calcio (CaCO_3), al estar en contacto con el agua se produce bióxido de carbono (CO_2) disuelto que es transformado en ácido carbónico (H_2CO_3) (Schmitter-Soto, *et al.*, 2002; Rivero, 2015), acidificando el medio.

Durante todo el estudio, fue posible observar diferencias espacio-temporales en cuanto al comportamiento de las variables físico-químicas, incluso dentro de una misma época climática. Lo anterior puede deberse a la alta heterogeneidad de los acuíferos kársticos debido a sus propiedades hidráulicas (porosidad, permeabilidad, etc) así como la distribución irregular del terreno provocada por la disolución de la roca (SECTUR, 2018; Oehlmann *et al.*, 2013).

Finalmente, este trabajo contribuye a la generación de conocimiento acerca de las características ecológicas de la ictiofauna presentes en la isla, así como las condiciones fisicoquímicas de los sistemas en que habitan. Lo anterior permitirá proporcionar información para entender su comportamiento a nivel espacio temporal. Este estudio puede servir como base para el desarrollo de futuros trabajos de investigación sobre la ictiofauna de regiones insulares, las cuales están pobremente estudiadas.

CONCLUSIONES

En este trabajo fue posible observar algunos aspectos ecológicos a nivel espacio temporal de la ictiofauna presente en algunos cenotes de la Isla, siendo este uno de los primeros trabajos en este sentido. Por lo cual se concluye que:

- ❖ En este estudio se registraron un total de 3 especies, de las cuales 2 (*G. yucatanana* y *P. velífera*) ya se encontraban registradas para la isla y otros sistemas acuáticos de la región. Por otra parte, la especie *B. curacao* se registra por primera vez en isla Cozumel, contribuyendo a los registros nacionales ya existentes de esta especie en costas del mar Caribe de Quintana Roo. Cabe resaltar que esta especie fue reportada principalmente en arrecifes, lagunas arrecifales, praderas de pastos marinos y pozas de marea en países como Colombia, Panamá, Estados Unidos, Venezuela, Belice y Bangladesh mientras que en este estudio se reportó en un cenote costero. Es importante mencionar que algunos organismos fueron depositados dentro de la colección Ictiológica del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), contribuyendo de esta manera a las colecciones científicas dentro de la región, permitiendo que este material se conserve y pueda consultarse en cualquier momento.
- ❖ *G. yucatanana* se reportó en los seis cenotes de estudio, siendo esta la que dominó durante las tres épocas climáticas presentando abundancias relativas mayores al 90%. Posiblemente esto se deba a la capacidad de adaptarse a cambios en las condiciones ambientales. La especie *P. velífera* fue registrada en el Cenote Ecología durante lluvias y nortes con abundancias por debajo del 5%. Finalmente, de la especie *B. curacao* se capturó un solo organismo en lluvias, teniendo una abundancia por debajo del 1%.
- ❖ Los índices ecológicos de Shannon Wiener y Simpson permitieron demostrar que existe una baja diversidad, debido a la alta dominancia de la especie *G. yucatanana*, lo cual se vio reflejado en los parámetros ecológicos de abundancia y riqueza de especies descritas en este estudio.
- ❖ En cuanto a las variables fisicoquímicas del agua, se infiere que probablemente se encuentran influenciados por aguas subterráneas, lo cual se ve reflejado por las bajas concentraciones de oxígeno y de temperaturas, con valores

típicos que corresponden a aguas subterráneas, a excepción del Cenote Maravillas. La mayoría de los cenotes presentaron aguas subsalinas y salobres, a excepción del Cenote Muelle y Maravillas los cuales se clasificaron como de agua dulce. Los valores de pH se encuentran dentro del rango de aguas neutras a básicas en la mayoría de las épocas climáticas, comportamiento típico en zonas cársticas.

- ❖ Finalmente, este trabajo contribuye a la generación de conocimiento acerca de las características ecológicas de la ictiofauna presentes en la isla, así como las condiciones fisicoquímicas de los sistemas en que habitan. Lo anterior permitirá proporcionar información para entender su comportamiento a nivel espacio temporal. Este estudio puede servir como base para el desarrollo de futuros trabajos de investigación sobre la ictiofauna de regiones insulares, las cuales están pobremente estudiadas.

LITERATURA CITADA

- Alamilla Pastrana, E. B., & May Uicab, D. A. (2013). Relación entre la riqueza y abundancia de los ácaros oribátidos edáficos y el contenido de materia orgánica en suelos de Cozumel, Quintana Roo.
- Anónimo.(1998) Programa de Manejo Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel, Quintana Roo, México. México, D. F. Instituto Nacional de Ecología. 164
- Arceo-Carranza, D., Gamboa, E., Teutli-Hernández, C., Badillo-Alemán, M., & Herrera-Silveira, J. A. (2016). Los peces como indicador de restauración de áreas de manglar en la costa norte de Yucatán. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(2), 489-496.
- Ayala-Pérez, L. A., Ramos-Miranda, J., Flores-Hernández, D., Sosa-López, A., & Martínez-Romero, G. E. (2015). Ictiofauna marina y costera de Campeche. *Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Instituto EPOMEX, Campeche.*
- Barjau González, E. (2012). Estructura comunitaria y diversidad taxonómica de los peces en la Bahía de la Paz y la Isla San José, Golfo de California.
- Camargo-Guerra, T., Escalera-Vázquez, L. H., & Zambrano, L. (2013). Fish community structure dynamics in cenotes of the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Yucatán Peninsula, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(3), 901-911.
- Campo, A. M., & Duval, V. S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural: Parque Nacional Lihué Calel (Argentina).
- Carmona-Galindo, V. D., & Carmona, T. V. (2013). La Diversidad de los Análisis de Diversidad La Diversidad de los Analisis de Diversidad [The Diversity of Diversity Analyses]. *Bioma*.
- Castro-Aguirre, J. L. (1978). Catálogo sistemático de los peces marinos que penetran a las aguas continentales de México con aspectos zoogeográficos y ecológicos.
- Castro Aguirre, J. L., Soto, S., & Jacobocoaut, J. (2002). *Lista sistemática, biogeográfica y ecológica de la ictiofauna. Estuarino lagunar y vicaria de México* (No. AR/597.09272 C3).
- Castro-Aguirre, J. L., Pérez, H. E., & Schmitter-Soto, J. J. (1999). *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Editorial Limusa.
- Castillo-Domínguez, A., Melgar-Valdes, C. E., Barba Macías, E., Rodiles-Hernández, R., Navarrete, A. D. J., Perera García, M. A., ... & Hernández Gómez, R. E. (2015). Composición y diversidad de peces del río San Pedro, Balancán, Tabasco, México. *Hidrobiológica*, 25(2), 285-292.
- Ceballos, G., Pardo, E. D., Estévez, L. M., & Pérez, H. E. (2018). Los peces dulceacuícolas de México en peligro de extinción. Fondo de Cultura Economica.

- Cervantes Martínez, A., (2005). *Análisis limnológico de dos sistemas cársticos (cenotes) de la Península de Yucatán, México con énfasis en la variación espacial y temporal del zooplancton* (No. TE/592.097267 C4).
- Cervantes-Martínez, A., Mezeta-Barrera, M., & Gutiérrez-Aguirre, M. A. (2009). Limnología básica del lago cárstico turístico Cenote Azul en Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 19(2), 177-180.
- Chumba-Segura, L., & Medina-González, R. (2000). Los peces dulceacuícolas de Yucatán: cenotes, petenes y manantiales. *Mexicoa*, 1(2), 73-79.
- CONAGUA (2009). Manual de atención de emergencias hidrogeológicas por muerte masiva de peces. Comisión Nacional del Agua, México. 184 p. ISBN 978-968-817-908-6.
- CONANP,(2007).Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2007.“Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área de Protección de Flora y Fauna Isla de Cozumel, Quintana Roo, México”.
- Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Bathygobius curacao* (Metzelaar, 1919), ejemplar de: Colección Nacional de Peces (CNPE). En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNPE:6945>
- Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Bathygobius curacao* (Metzelaar, 1919), ejemplar de: Colección Nacional de Peces (CNPE). En *Portal de Datos Abiertos UNAM* (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNPE:6873>
- Departamento de Zoología, Instituto de Biología (IBUNAM), *Bathygobius curacao* (Metzelaar, 1919), ejemplar de: Colección Nacional de Peces (CNPE). En *Portal de Datos Abiertos UNAM* (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:CNPE:5767>.
- DOF. (1989). Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/acu/acca001.pdf>
- Espinosa Perez, H. S. (2016). Programa de mejoramiento de la enseñanza de la ictiología por la Colección Nacional de Peces en la UNAM.
- Espinosa-Pérez, H. (2014). Biodiversidad de peces en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 450-459.
- Evermann, B. W., & Goldsborough, E. L. (1902). *A report on fishes collected in Mexico and Central America, with notes and descriptions of five new species* (Vol. 21). US Government Printing Office.
- Ferreira, J. G., & Acero, A. (1992). LOS PECES DEL GENERO BATHYGOBIUS (PERCIFORMES: GOBIIDAE) DEL CARIBE COLOMBIANO. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 21.
- Gándara, C. G. (2003). Ictiofauna de los arrecifes coralinos del norte de Veracruz. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*, 74(2), 163-178.

- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Hernández, V., Ordóñez-López, U., Hernández-Vázquez, T., & Álvarez-Cadena, J. N. (2009). Listado de larvas y juveniles de peces del norte de la península de Yucatán, México, con 39 nuevos registros para la región. *Revista mexicana de biodiversidad*, 80(1), 85-94.
- Gorman, G. C., Kim, Y. J., & Rubinoff, R. (1976). Genetic relationships of three species of *Bathygobius* from the Atlantic and Pacific sides of Panama. *Copeia*, 361-364.
- Gupta, G. N., Srivastava, S., Khare, S. K., & Prakash, V. (2014). Extremophiles: an overview of microorganism from extreme environment. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 7(2), 371.
- Gutiérrez-Aguirre, M. G. (2007). Biología y calidad del agua del acuífero norte de Quintana Roo. *Teoría y Praxis*, (3), 135-141.
- Hankison, S. J., Childress, M. J., Schmitter-Soto, J. J., & Ptacek, M. B. (2006). Morphological divergence within and between the Mexican sailfin mollies, *Poecilia velifera* and *Poecilia petenensis*. *Journal of Fish Biology*, 68(5), 1610-1630.
- Hubbs, C. L. (1936). *Fishes of the Yucatan peninsula*. Carnegie Institution of Washington.
- Illife, T. M. (1993). Fauna troglobia acuática de la Península de Yucatán. *Biodiversidad marina y costera de Mexico. SI Salazar-Vallejo & NE González (eds.) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y CIQRO, México*, 673-686.
- INE. (2000). Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. México: Instituto Nacional de Ecología
- Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática (INEGI) (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Cozumel, Quintana Roo. Clave geoestadística 23001. México.
- Kobelkowsky, A., & García, A. A. (2000). Anatomía sexual de *Gambusia regani* (Pisces: Poeciliidae). *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*, 71(2), 133-142.
- López Vila, J. M. (2013). *Composición y variación espacial de la ictiofauna del río Hondo, México-Belice* (No. TE/597.097267 L6).
- Martínez Hernández, M. D. R. (2013). *Modelo de gestión para el desarrollo de la acuicultura en el sur de Quintana Roo* (Master's thesis, Universidad de Quintana Roo).
- Medina, RCB y Tenorio, LG (2017) Diversidad de peces en cenotes del municipio de Mérida, Yucatán.
- Mendoza, L. C. H., Daniel, A. C., & Iuit, J. O. V. (2019). Estructura de la comunidad íctica de un ecosistema de manglar en proceso de restauración en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *Manglares de América*, 66-78.

- Miller, R. R., Minckley, W. L., Soto, S., & Jacobotr, J. (2009). *Peces dulceacuícolas de México* (No.EE/597.092972M5).
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Nolan, C. J., & Danilowicz, B. S. (2008). Advantages of using crest nets to sample presettlement larvae of reef fishes in the Caribbean Sea. *Fishery Bulletin*, 106(2), 213.
- Oehlmann, S., Geyer, T., Licha, T., & Birk, S. (2013). Influence of aquifer heterogeneity on karst hydraulics and catchment delineation employing distributive modeling approaches. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(12), 4729-4742.
- Pérez-Ceballos, R., Canul-Macario, C., Pacheco-Castro, R., Pacheco-Ávila, J., Euán-Ávila, J., & Merino-Ibarra, M. (2021). Regional Hydrogeochemical Evolution of Groundwater in the Ring of Cenotes, Yucatán (Mexico): An Inverse Modelling Approach. *Water* 2021, 13, 614.
- Pérez-León, S., & Schmitter-Soto, J. J. (2007). Distribución y taxonomía del género *Gambusia* (Teleostei: Poeciliidae) en el norte y oriente de la península de Yucatán, México. *Universidad y Ciencia*, 23(2), 167-171.
- Perry, E., Paytan, A., Pedersen, B., & Velazquez-Oliman, G. (2009). Groundwater geochemistry of the Yucatan Peninsula, Mexico: constraints on stratigraphy and hydrogeology. *Journal of Hydrology*, 367(1-2), 27-40.
- Perry, E., Vélazquez-Oliman, G. y Marin, L. 2002. The hydrogeochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *International Geology Review*. 44: 191-221
- Phillip, D. A., Taphorn, D. C., Holm, E., Gilliam, J. F., Lamphere, B. A., & Lopez-Fernandez, H. (2013). Annotated list and key to the stream fishes of Trinidad & Tobago. *Zootaxa*, 3711(1), 1-64.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.
- Ramírez, E. M., Doadrio-Villarejo, I., & de Sostoa-Fernández, A. (2004). Peces continentales. In *Biodiversidad de Oaxaca* (pp. 357-373). Instituto de Biología UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund México.
- Rivero, F. S. A. (2015). Diversidad genética y filogenia de las tres principales Divisiones de microalgas dulceacuícolas en dos cenotes de Quintana Roo, México (Doctoral dissertation, Centro de Investigación Científica de Yucatán).
- Rodiles-Hernández, R., González-Díaz, A. A., & Chan-Sala, C. (2005). Lista de peces continentales de Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 15(2), 245-253.
- Ruiz-Campos, G., Camarena-Rosales, F., González-Acosta, A. F., Maeda-Martínez, A. M., García de León, F. J., Varela-Romero, A., & Andreu-Soler, A. (2014). Estatus actual de conservación de seis especies de peces dulceacuícolas de la península de Baja California, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(4), 1235-1248.

- Sánchez, A. M., & Regil, O. R. (2011). Hábitos alimentarios de *Gambusia yucatanana* en la División Académica de Ciencias Biológicas (UJAT). Villahermosa Tab. *Kuxulkab*, 17(32).
- Sánchez, I. A., Cervantes-Martínez, A., Herrera, R. A. G., Campos, M. E. V., & Gutiérrez-Aguirre, M. A. (2015). Evidencia de flujo preferencial al mar, del Cenote Caletita, en Cozumel, México. *Ingeniería*, 19(1), 1-12.
- Sánchez, J. A. S. (2015). *Estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas en la zona sur del Estado de Quintana Roo, México* (Doctoral dissertation, El Colegio de la Frontera Sur).
- Sa-nguansil, S. (2010). Population Characteristics and Diet of Sailfin Molly *Poecilia velifera* (Regan, 1914) (Poeciliidae; Cyprinodontiformes): an Alien Fish Invading Songkhla Lake Basin, Thailand (Doctoral dissertation, Prince of Songkla University).
- SECTUR (Secretaría de Turismo). 2018. Programa Marco para fomentar acciones para restablecer el balance del ciclo del agua en Cozumel, Secretaría de Turismo, Ciudad de México, p. 85.
- Schmitter-Soto, J. J., & Gamboa-Pérez, H. C. (1996). Composición y distribución de peces continentales en el sur de Quintana Roo, Península de Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical*, 199-212.
- Schmitter-Soto, J. J. (1998). *Catálogo de los peces continentales de Quintana Roo*. San Cristóbal de las Casas: El Colegio de la Frontera Sur.
- Schmitter-Soto, J. J. (1999). Distribution of continental fishes in northern Quintana Roo, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 166-172.
- Schmitter-Soto, J. J., Comín, F. A., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., ... & Steinich, B. (2002). Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467(1-3), 215-228.
- Schmitter-Soto, J. J., Escobar-Briones, E., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías-Gutiérrez, M., & Marín, L. E. (2002). Los cenotes de la Península de Yucatán. De la Lanza-Espino, G. y JL García-Calderón (Comps.). Lagos y Presas de México. AGT. México, 337-381.
- Schmitter-Soto, J. J. 2006. Ficha técnica de *Poecilia velifera*. Evaluación del riesgo de extinción de los cíclidos mexicanos y de los peces de la frontera sur incluidos en la NOM-059. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. CK001. México. D.F.
- Schmitter Soto, J. J. (2007). Peces dulceacuícolas. Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel/Luis M. Mejía Ortiz (Ed.) p. 257-264.
- Schmitter-Soto, Juan. (2016). *Poecilia velifera* (Regan, 1914): Topote aleta grande, Yucatan Molly.

- Schmitter-Soto, J. J. (2017). A revision of *Astyanax* (Characiformes: Characidae) in Central and North America, with the description of nine new species. *Journal of Natural History*, 51(23-24), 1331-1424.
- Schmitter-Soto, J. J. (2020). La ictiofauna cenotícola (peces de cenote) más relevante de la península de Yucatán. *Bioagrobiencias*, 13(1).
- Sharifuzzaman, S. M., Fuad, M. T. I., Rubby, I. A., Chowdhury, M. S. N., Hossain, M. S., & Chowdhury, S. R. (2021). Preliminary report on tidepool fish diversity from a rocky shore in the Bay of Bengal. *Regional Studies in Marine Science*, 43, 101698.
- Solís Mena, J.C. 2018. Abundancia y diversidad de larvas de peces en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) usando un arte de muestreo alternativo. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Chetumal, México. 131 p.
- Sosa-Escalante, J., & Chablé-Santos, J. (2013). Conservación y manejo de los cenotes. ordenamiento territorial del estado de Yucatán: visión, 2030, 63-74
- Stadler, J. H. (2000). *Species recognition and sex discrimination by males of the notchtongue goby, Bathygobius curacao (Pisces: Gobiidae)*. University of Miami.
- Suárez-Morales, E., y Rivera-Arriaga, E. 1998. Hidrología y fauna acuática de los cenotes de la Península de Yucatán. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 48, 37-47.
- Torres Castro, I. L. (2005). *Composición y diversidad de peces en dos sistemas cárstico-palustres, los Petenes, Campeche* (No. TE/597.097264 T6).
- Urenda, F. R. (2016). Salinidad y aguas subterráneas
- Vázquez Chicmul, A. C. 2017. Efecto de la depredación de dos vertebrados sobre la estructura del zooplancton en un cenote tipo aguada de Cozumel, Quintana Roo, México. Tesis de Licenciatura. UQROO, Universidad de Quintana Roo.
- Yañez, G., Zarza-González, E., & Mejía-Ortíz, L. M. (2008). Sistemas anquihalinos. Biodiversidad acuática de la isla de Cozumel, LM Mejía-Ortíz (ed.). Plaza y Valdés, México, DF/Universidad de Quintana Roo, Cozumel, 49-69.
- Yañez-Mendoza, G., Zarza-González, E., & Mejía-Ortíz, L. M. (2008). Sistemas anquihalinos. *Biodiversidad acuática de la isla de Cozumel*, 49-70.
- Zambrano, L., Vázquez-Domínguez, E., García-Bedoya, D., Loftus, W. F., & Trexler, J. C. (2006). Fish community structure in freshwater karstic water bodies of the Sian Ka'an Reserve in the Yucatan peninsula, Mexico. *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 17(3), 193

ANEXOS

Anexo 1



NO. CAMPO _____ ECO-CH P _____

COLECCIÓN DE PECES - MUSEO DE ECOLOGÍA, ECOSUR, UNIDAD CHETUMAL

ESPECIE _____

DETERM. /AÑO _____ / _____ FAMILIA _____

NO. EJEMPLARES _____	COLECTOR (ES) _____	FECHA _____
HRS. _____	PAÍS _____	ESTADO _____
MUNIC. _____	LOCALIDAD _____	
COORD. _____		N. _____ W. _____

ARTE _____ LANCES _____ TEMP. _____ °C SALIN. _____ ppm pH _____

COND. _____ µmho/cm O₂ DIS. _____ mg/l PROF. _____ m TRNSP. _____ m

COLOR _____ FONDO _____ VEGET. _____

OBSERVACIONES (ECOLOGÍA) _____

CARÁCTER \ EJ. #:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LONG. TOTAL (mm)										
PESO (g)										
SEXO (σ, ♀, i)										
LONG. PATRÓN (mm)										
LONG. CEF. (mm)										
LC / LP										
ALT. MÁX. / LP										
DIÁM. OCULAR/LC										
LONG. HOCICO/LC										
BRANQUIESP., R.I.										
FORM. DORSAL										
FORM. ANAL										
FORM. PECTORAL										
ESC. LÍN. LAT.										

OBSERVACIONES (MORFOLOGÍA) _____

Anexo 2

	EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR	
	COLECCIÓN ICTIOLÓGICA	
	ECO-CHP _____	
	ESPECIE _____	
	FAMILIA _____	
	LOCALIDAD _____	
	MUNICIPIO _____	
	COLECTOR _____	
	Nº DE COLECTA _____	FECHA _____
	COORDENADAS _____	
	ARTE DE PESCA _____	
	Nº EJEMPLARES _____	
	IDENTIFICO _____	
	EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR	
	COLECCIÓN ICTIOLÓGICA	
	ECO-CHP _____	
	ESPECIE _____	
	FAMILIA _____	
	LOCALIDAD _____	
	MUNICIPIO _____	
	COLECTOR _____	
	Nº DE COLECTA _____	FECHA _____
	COORDENADAS _____	
	ARTE DE PESCA _____	
	Nº EJEMPLARES _____	
	IDENTIFICO _____	