



Revisión de las especies endémicas de poliquetos, crustáceos y peces del Acuífero Norte de Quintana Roo, México

Recibido:16/07/17 · Aceptado: 11/09/17

Martha Angélica Gutiérrez-Aguirre*
Adrián Cervantes-Martínez
Oscar Frausto-Martínez
Wilbert David Uhu-Yam
Víctor Hugo Delgado-Blas
J. D. Ruiz-Ramírez
Universidad de Quintana Roo

Resumen

Una característica notable en el paisaje de la Península de Yucatán, México, es que no existen corrientes o ríos continentales superficiales, sino que dominan las corrientes subterráneas. Esta condición se presenta en una región conocida como Acuífero Norte del estado de Quintana Roo, enclavado en el sureste mexicano y que posee fauna importante. Este tipo de acuíferos se conforman como ecosistemas complejos y dinámicos: al tener en cuenta las características físicas y químicas del agua que los recorre, existen áreas que albergan exclusivamente agua dulce, pero además, en los sistemas subterráneos cercanos a la costa el agua dulce y la salina mantienen corrientes de diferente dirección e intensidad; hay otros donde capas someras de agua dulce y salina fluyen hacia la costa, aunque al mismo tiempo hay contracorrientes de agua salina que entran hacia el interior. Esto produce ambientes distintos en el acuífero, los cuales contienen fauna de gran relevancia en la región. En este trabajo se presenta un inventario actualizado de la fauna que habita en las zonas endo y exocársticas (o en su área de influencia) del Acuífero Norte de Quintana Roo, con particular acento en la fauna endémica de poliquetos, peces y crustáceos, organismos que por su distribución o abundancia se califican como dominantes en los sistemas acuáticos subterráneos de la región. Con esta información se determinó el número de especies registradas enfatizando en aquellas estimadas como endémicas de sistemas subterráneos y superficiales. Se obtuvo un inventario de 116 especies; de ellas, 36 se consideran endémicas de Quintana Roo y el Caribe, las cuales han sido encontradas en poco más de 130 sitios del estado.

KEY WORDS: Biodiversidad, carst, fauna acuática, conservación, riqueza.

*Correos electrónicos: margutierrez@uqroo.mx, adcervantes@uqroo.mx

Review of endemic polychaetes, crustaceans, and fish species in the Northern Aquifer of Quintana Roo, Mexico



Received: 07/16/17 · Accepted: 09/11/17

Martha Angélica Gutiérrez-Aguirre*
Adrián Cervantes-Martínez
Oscar Frausto-Martínez
Wilbert David Uhu-Yam
Víctor Hugo Delgado-Blas
J. D. Ruiz-Ramírez
Universidad de Quintana Roo

Abstract

A notable feature in the landscape of the Yucatan Peninsula, Mexico is the absence of surface currents or continental rivers and the dominance of underground currents. This condition is present in a region known as the Northern Aquifer of the state of Quintana Roo, in Southeast Mexico that has an important fauna. These types of aquifers conform complex and dynamic ecosystems: when considering the physical and chemical characteristics of the water that runs through them, there are areas that only contain fresh water, but also in the underground systems near to the coast, fresh and saline water maintain currents of different direction and intensity yet in others, both saline and fresh water currents move towards the coast and in other areas saline waters flow inland. This dynamism produces different environments in the aquifer, which harbor very important fauna in the region. This work presents an updated inventory of the fauna that inhabits the endo and exo-karstic zones of the Northern Aquifer of Quintana Roo (or within the influence area). Emphasis was put on the endemic fauna of polychaetes, fish and crustaceans, organisms that due to their distribution and/or abundance are considered as dominant in the subterranean aquatic system regions. With this information the number of species recorded was determined, emphasizing those considered as endemic to subterranean and surface systems. An inventory of 116 species was obtained; 36 are considered endemic to Quintana Roo and the Caribbean which have been found in around 130 sites of Quintana Roo.

KEY WORDS: biodiversity, karst, aquatic fauna, conservation, richness.

*E-mails: margutierrez@uqroo.mx, adcervantes@uqroo.mx

Introducción

Una característica notable del paisaje en la región norte de Quintana Roo es que no existen corrientes o ríos continentales superficiales sino subterráneos, los cuales recorren diversas partes del subsuelo de la región, a través de cavernas y túneles. Esto se debe al dominio de un suelo joven, de origen calcáreo y orgánico, conformado actualmente por calizas tan porosas, que el agua de lluvia se filtra hacia el subsuelo, formando flujos subterráneos que subsecuentemente producen colapso de bóvedas terrígenas, generando los sistemas superficiales denominados regionalmente cenotes, que pueden estar conectados a corrientes subterráneas también conocidas como manifestaciones endocársticas (Gerard, 2000, p. 17; White, Culver, Herman, Kane y Mylroie, 1995, p. 455).

El Acuífero Norte de Quintana Roo es una unidad geológica aparentemente aislada que puede almacenar y transmitir agua a tasas diferenciales. Las evidencias hasta hoy colectadas nos muestran que es complejo y dinámico al considerar las características físicas y químicas del agua que lo recorre: existen áreas que albergan exclusivamente agua dulce, pero además en los sistemas subterráneos cercanos a la costa el agua dulce y salina mantienen corrientes de diferente dirección e intensidad, u otros donde capas someras de agua dulce y salina fluyen hacia la costa, pero al mismo tiempo hay contracorrientes de agua salina que fluyen hacia el interior (Beddows, 2006, p. 36).

Lo anterior produce ambientes distintos en el acuífero, los cuales albergan fauna de mucha importancia; estos ambientes se clasifican en:

- Anquihalino: en cavernas subterráneas inundadas con agua marina, con salinidades variables en un amplio rango, no conectadas con el mar a nivel superficial.
- Troglobio: formado por cavernas inundadas.
- Dulceacuícola: continental o subterráneo, con salinidad $< 1 \text{ g L}^{-1}$.
- Oligohalino: ambiente acuático con salinidades comprendidas entre 0.5 y 30 g L^{-1} .

Además, algunas especies acuáticas tienen capacidades diferenciales por habitar ambientes con distintos rangos de salinidad, según su capacidad para regular la concentración osmótica de sus células. Esto es más común entre los peces y, por lo tanto, también se pueden clasificar en:

- Organismos eurihalinos: aquellos con amplia tolerancia a fluctuaciones de salinidad, de manera que son capaces de habitar, a lo largo de su ciclo de vida, ambientes tan diversos como el marino, ríos alejados del mar, arrecifes, estuarios o cenotes con agua dulce.
- Organismos estenohalinos: con poca tolerancia a fluctuaciones de salinidad, por ende, solo son capaces de ocupar ambientes muy específicos mientras viven.

En este contexto, se presenta un inventario actualizado de la fauna que habita en las manifestaciones endo y exocársticas (o en su área de influencia) del Acuífero Norte de Quintana Roo, con particular énfasis en la fauna endémica de poliquetos, peces y crustáceos, organismos que por su distribución y abundancia se consideran como dominantes en sistemas acuáticos subterráneos de la región.

El inventario se fundamenta en una revisión bibliográfica extensa a fin de integrar la información acerca de la presencia y registro de fauna reconocida por su alto grado de endemismo, con preferencias ecológicas peculiares y particulares.

Metodología

Se realizó un proceso de recopilación y análisis de datos a través de una revisión bibliográfica para conocer la distribución y diversidad de especies de poliquetos, crustáceos (macro y micro) y peces registrados en la región norte de Quintana Roo. Los datos de la distribución completa de las especies de poliquetos se consultaron en Frontana-Uribe y Solís-Weiss (2011, p. 3).

La distribución de macro y microcrustáceos se revisó en las siguientes obras: Holsinger (1977, p. 25), Yager (1987), Holsinger (1990, p. 107), Iliffe (1992, p. 215), Kallmeyer y Carpenter (1996, p. 427), Fiers, Reid, Iliffe y Suárez-Morales (1996, p. 102), Botosaneanu e Iliffe (1997, p. 112), Escobar-Briones, Camacho y Alcocer (1997, p. 744), Rocha, Iliffe, Reid y Suárez-Morales (1998, p. 399), Fiers, Ghenne y Suárez-Morales (2000, p. 251), Kornicker e Iliffe (2000, p. 98), Botosaneanu e Iliffe (2002, p. 112), Iliffe (1999-2005, s/p), Pesce e Iliffe (2002, p. 278), Suárez-Morales e Iliffe (2005, p. 423), Álvarez-Noguera e Iliffe (2008, p. 522), Sabido-Villanueva (2011, p. 77), Neiber, Hansen, Iliffe, González y Koenemann

(2012, p. 46), Ortiz y Cházaro (2015, p. 163), Ortiz y Winfield (2015, p. 336), Álvarez-Noguera, Iliffe, González y Villalobos (2012, p. 68), Mejía-Ortiz, Zarza y López Mejía (2008, p. 672), Mejía-Ortiz, Yáñez y López Mejía (2017, p. 398), Olesen, Meland, Glenner, Van Hengstum e Iliffe (2017, p. 27), Suárez-Morales, Cervantes-Martínez, Gutiérrez-Aguirre e Iliffe (2017, p. 878) y Suárez-Morales, Gutiérrez-Aguirre, Cervantes-Martínez e Iliffe (2017, p. 17).

Los datos de distribución de los peces se consultaron en Álvarez-Guillén, García-Abad, Villalobos-Zapata y Yáñez-Arancibia (1986, p. 336), Navarro-Mendoza (1988, p. 240), Bearez (1996, p. 741), Schmitter-Soto (1998, p. 239), Tapia-García et al. (1998, p. 284), Caballero-Vázquez, Gamboa-Pérez y Schmitter-Soto (2005, p. 225), Leis (2006, p. 90), Minckley, Miller, Barbour, Schmitter-Soto y Norris (2009, p. 53) y Rush Miller (2009, p. 559).

La región norte de Quintana Roo se considera geomórficamente aislada y contiene un acuífero donde habitan especies acuáticas de importancia. Esta revisión fue útil para identificar la distribución de especies endémicas, las cuales son objeto del presente estudio, junto con sus acompañantes no endémicos.

Con el registro de las localidades ocupadas por los organismos de interés se realizó: 1) un inventario de los poliquetos, peces y crustáceos (macro y micro) distribuidos en los municipios de Isla Mujeres, Benito Juárez, Solidaridad y Cozumel, en Quintana Roo, México, y 2) una identificación georreferenciada de la distribución de especies endémicas de crustáceos y peces de la región.

La base de datos georreferenciada se migró a coordenadas UTM y la proyección WGS84, usando ArcGIS 10.4, para generar una imagen en 600 dpi. Con esta información se determinó el número de especies registradas en Quintana Roo, enfatizando en aquellas consideradas como endémicas de sistemas subterráneos y superficiales asociados con el Acuífero Norte de Quintana Roo.

Resultados

Se estima que el Acuífero Norte de Quintana Roo inició su desarrollo entre 1.5 y 2.3 millones de años atrás, durante el Mioceno-Plioceno (Aguayo, Bello, Vecchio, Araujo y Basañez, 1980, p. 18; Sánchez-Pinto, González-Herrera y Perry, 2005, p. 15; Escolero et al., 2005, p. 309). Este acuífero está comprendido dentro del polígono formado entre las localidades de Cancún, Cabo Catoche, Leona Vicario, Chemax, Cobá, Tulum y Cozumel, Quintana Roo, México (figura 1).

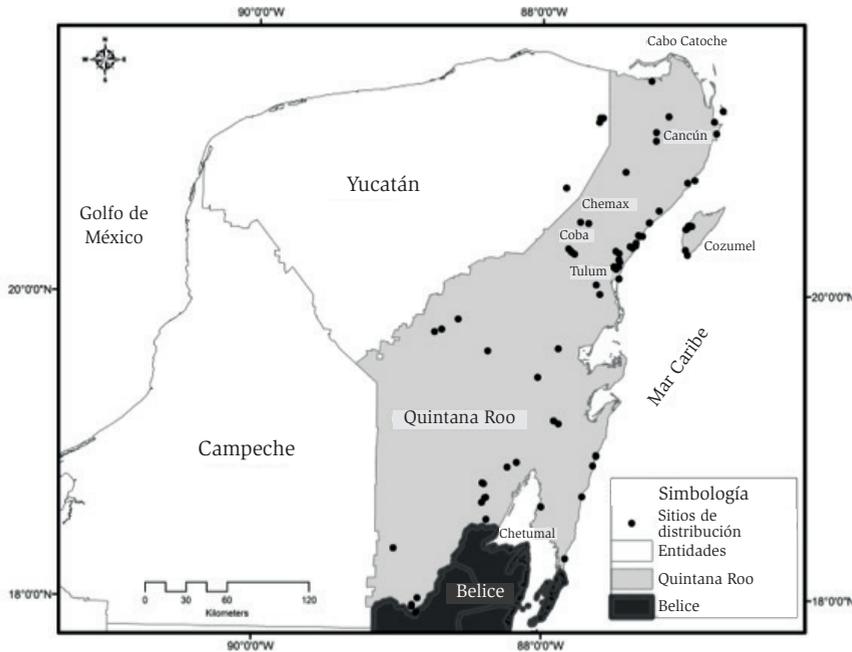


Figura 1. Sitios (señalados con puntos) en que se distribuyen los peces y crustáceos endémicos de Quintana Roo

Se obtuvo un inventario de 116 especies; de ellas, 36 se consideran endémicas de Quintana Roo y/o el Caribe, las cuales han sido registradas en alrededor de 130 sitios de Quintana Roo (figura 1). Posterior a la revisión, se determinó que 27 especies de crustáceos y dos de peces se consignan como endémicas específicamente del Acuífero Norte. Las particularidades para cada grupo de organismos analizados se presentan a continuación.

Poliquetos

De acuerdo con el material publicado, las especies de poliquetos que habitan dentro del área de interés se han registrado exclusivamente en la isla de Cozumel, en un ambiente con amplia influencia marina. Dos de las 12 especies de poliquetos registrados se consideran cosmopolitas o de amplia distribución

(cuadro 1). Sin embargo, es necesario corroborar la identidad de estas especies con estudios taxonómicos más finos.

CUADRO 1. Especies de poliquetos registradas en el área de estudio

Clase: Orden, o Clase: Familia	Especie	Distribución
Polychaeta: Capitellidae	<i>Capitella</i> cf. <i>capitata</i> (Fabricius, 1780)	Se considera cosmopolita, pero en realidad parece compuesta por especies crípticas, genéticamente distintas.
	<i>Capitella aciculatus</i> (Hartman, 1959)	Océano Atlántico, Florida, Costa Rica.
	<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	Mar Mediterráneo, océanos Atlántico y Pacífico, Australia, sur de California.
Polychaeta: Paraonidae	<i>Paradoneis lyra</i> (Southern, 1914)	Noreste del Atlántico, Indo-Pacífico, Mediterráneo, Panamá, sureste de California.
Polychaeta: Amphinomida	<i>Hermodice carunculata</i> (Pallas, 1766)	Cueva anquihalina del cenote Aerolito, Mediterráneo.
Polychaeta: Eunicida	<i>Ophryotrocha</i> sp. A.	Cozumel, Quintana Roo.
Polychaeta: Phy- llodocida	<i>Stenoninereis martini</i> Wesenberg-Lund, 1959	Laguna de Términos (Campeche, México), el Gran Caribe, isla San Martín, Sarasota (Florida), oeste del Golfo de México, Cuba, Carolina del Norte.
	<i>Erinaceusyllis centroamerican</i> (Hartmann-Schröder, 1959)	Circuntropical: El Salvador, Galápagos, mar Caribe, Hawái, Samoa, Angola, Mozambique, Tanzania, Australia.
	<i>Salvatoria</i> sp. 1	Cozumel, Quintana Roo.
	<i>Exogone (Paraexogone)</i> sp. 1	Cozumel, Quintana Roo.
	<i>Syllis prolifera</i> Krohn, 1852	Cozumel, Quintana Roo. Cosmopolita, en mares templados y tropicales.
	<i>Syllis maryae</i> San Martín, 1992	Cozumel (Quintana Roo), Carolina del Norte, Cuba, Golfo de México.

Nota: Todas las especies han sido registradas en el acceso hacia el mar, o en la cueva anquihalina del cenote Aerolito, en la isla de Cozumel, Quintana Roo (20° 28' 00" N; 86° 58' 45" W).

Probablemente los organismos clasificados en los géneros *Ophryotrocha*, *Salvatoria* y *Exogone* constituyan especies desconocidas para la ciencia y con distribución restringida a Cozumel.

Crustáceos

En el Acuífero Norte de Quintana Roo se han registrado 58 especies de macro y microcrustáceos (cuadro 2). Con la información disponible no es posible determinar el estatus de conservación de los crustáceos endémicos, que representan un poco más de 50 % del total de especies reportadas. Es cardinal establecer la relevancia de mantener la buena calidad del agua del ambiente en que habitan, toda vez que se trata de ecosistemas de extensión importante en la región sureste de México y particularmente en la región norte de Quintana Roo.

CUADRO 2. Especies de crustáceos registradas en sistemas subterráneos y superficiales asociados con el Acuífero Norte de Quintana Roo

Clase o Subclase: Orden	Especie	Distribución
Remipedia: Nectipoda	<i>Xibalbanus tulumensis</i> Yager 1987*	Cenote Aktun-Ha (l. t.), además se ha registrado en cenotes de Tulum-Akumal, Quintana Roo, y cuevas de Belice.
	<i>Speleonectes fuchscockburni</i> Neiber et al., 2012*	Cenote Crustacea (l. t.), Puerto Morelos, Quintana Roo.
	<i>Xibalbanus cozumelensis</i> Olesen et al., 2017*	Especie solamente conocida en la localidad tipo: Cueva Quebrada, Cozumel.
Branchiopoda: Anomopoda	<i>Ceriodaphnia cornuta</i> s. lat. Sars, 1885	Pozo Chankanaab, Cozumel.
	<i>Karualona karua</i> (King, 1853)	Pozo Chankanaab 3, Cozumel.
	<i>Kurzia (Kurzia) polyspina</i> Hudec, 2000	Pozo Universidad Partenón, Cozumel.

Nota: El (*) indica especies endémicas de la región; (l. t.) = localidad tipo; s. lat. = en sentido laxo.

(continúa)

CUADRO 2. Especies de crustáceos registradas en sistemas subterráneos y superficiales asociados con el Acuífero Norte de Quintana Roo (continuación)

Clase o Subclase: Orden	Especie	Distribución
Copepoda: Calanoida	<i>Ballinella yucatanensis</i> Suárez-Morales, Ferrari & Ilife, 2006*	Cenote Ponderosa (l. t.), cenotes 27 Escalones y Escondido, en la región costera entre Tulum y Puerto Aventuras, Quintana Roo.
	<i>Enantiosis</i> sp.	En un sistema de cuevas de Puerto Morelos, Quintana Roo.
	<i>Exumella tsonot</i> Suárez-Morales e Iliffe, 2005*	Cenote Edén (l. t.) del Sistema Ponderosa, Puerto Morelos, Quintana Roo.
	<i>Stephos fernandoi</i> , Suárez-Morales et al., 2017*	Especie solamente registrada en la localidad tipo: cenote Tres Potrillos, Cozumel, Quintana Roo.
	<i>Artodiaptomus dorsalis</i> (Marsh, 1907)	Ampliamente distribuido en México. En Quintana Roo, habita en el cenote Angelita, sur de Tulum.
	<i>Mastigodiaptomus texensis</i> (M. S. Wilson, 1953)	Norteamérica: Texas, Tamaulipas, centro de México. En Quintana Roo, en cenotes de Tulum (Chemuyil) y Puerto Morelos (7 bocas, Verde Lucero, Boca del Puma).
Copepoda: Cyclopoida	<i>Speleophria germanyanezi</i> , Suárez-Morales et al., 2017*	Especie solamente registrada en la localidad tipo: cenote Tres Potrillos, Cozumel, Quintana Roo.
	<i>Eucyclops conrowae</i> Reid, 1992	En cenotes de Yucatán (Zaci) y de Quintana Roo (Cristal y Mayan Blue).
	<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)	Cosmopolita.
	<i>Tropocyclops prasinus aff. aztequei</i> Linberg, 1955	Cenotes cercanos a Tulum (Chemuyil, Mayan Blue), Puerto Morelos (7 bocas, Verde Lucero, Boca del Puma).
	<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine, 1820)	Cosmopolita de los trópicos. En cenotes Cristal y Mayan Blue, Tulum, Quintana Roo.
	<i>Apocyclops panamaensis</i> Marsh, 1913	Cenote Chemuyil, Tulum, Quintana Roo.

(continúa)

CUADRO 2. Especies de crustáceos registradas en sistemas subterráneos y superficiales asociados con el Acuífero Norte de Quintana Roo (continuación)

Clase o Subclase: Orden	Especie	Distribución
Copepoda: Cyclopoida	<i>Thermocyclops inversus</i> (Kiefer, 1936)	Circuntropical, amplia distribución en México, incluyendo la Península de Yucatán. En Quintana Roo: cenote Verde Lucero, Puerto Morelos.
	<i>Diacyclops chakan</i> Fiers y Reid, 1996*	Cavernas de Yucatán y Quintana Roo.
	<i>Diacyclops ecabensis</i> Fiers y Ghenne, 2000	Región central y norte de Quintana Roo.
	<i>Diacyclops pilosus</i> Fiers y Ghenne, 2000*	Cenotes del sur de Tulum.
	<i>Mesocyclops yutsil</i> Reid, 1996*	Cenote Yuncú, Yucatán (l. t.). En Quintana Roo: cenotes Cristal y 27 Escalones (Tulum-Akumal).
	<i>Mesocyclops pescei</i> Petkovski, 1986	Bahamas y Península de Yucatán.
Ostracoda: Halocyprida	<i>Spelaeoecia mayana</i> Kornicker e Iliffe, 1998*	Cenote Escondido (l. t.) y 27 Escalones (Tulum-Akumal).
	<i>Humphreysella mexicana</i> (Kornicker e Iliffe, 1989)*	Cenotes Escondido (l. t.), Ponderosa y 27 Escalones, Quintana Roo.
Eumalacostraca: Thermosbaenacea	<i>Tulumella unidens</i> Bowman e Iliffe, 1988*	Cenotes Cristal (l. t.), Calavera y Aktun Ha.
	<i>Tulumella bahamensis</i> Yager, 1987	En cavernas al sur de Tulum y en las Bahamas.
	<i>Tulumella gryis</i> Yager, 1987	En cavernas al sur de Tulum y en las Bahamas.
Malacostraca: Mysida	<i>Antromysis (Antromysis)</i> <i>cenotensis</i> Creaser, 1936	Ampliamente distribuida en las regiones central y norte de la Península de Yucatán.
	<i>Stygiomysis cokei</i> Kallmeyer y Carpenter, 1996*	Cavernas de Yucatán y Quintana Roo: cenotes Calavera (l. t.), Escondido, Aktun Ha y Cristal en Tulum y Actun Ko en Akumal.

(continúa)

CUADRO 2. Especies de crustáceos registradas en sistemas subterráneos y superficiales asociados con el Acuífero Norte de Quintana Roo (continuación)

Clase o Subclase: Orden	Especie	Distribución
Malacostraca: Mysida	<i>Stygiomysis holthuisi</i> (Gordon, 1958)	Bahamas, Puerto Rico e islas caribeñas. Yucatán. En Quintana Roo: cavernas asociadas con el cenote Escondido, Tulum.
	<i>Stygiomysis clarkei</i> Bowman, Illiffe y Yager, 1984	Islas caribeñas, Yucatán. En Quintana Roo: cavernas asociadas con cenotes del sur de Tulum.
Malacostraca: Amphipoda	<i>Bahadzia bozanici</i> Holsinger, 1992*	Cueva Quebrada (l. t.) y cenote Aerolito, Cozumel. Cenotes Carwash y Aktun Ha, Tulum, Quintana Roo.
	<i>B. setodactylus</i> Holsinger, 1992*	Especie solamente registrada en la localidad tipo: cenote Xkan-Ha, Cozumel, Quintana Roo.
	<i>Mayaweckelia cenoticola</i> Holsinger, 1977*	Cenote Xtacabihá (l. t., Yucatán) y cavernas cercanas a Tulum, Quintana Roo.
	<i>Tuluweckelia cernua</i> Holsinger, 1990*	Cenotes Calavera (l. t.), Aktun Ha, Escondido, Mojarra y Cristal; todos ubicados en el área de Tulum.
	<i>Cymadusa herrerae</i> Ortiz y Winfield, 2015*	Especie solamente registrada en la localidad tipo: cenote Aerolito, Cozumel, Quintana Roo.
Eumalacostraca: Isopoda	<i>Creaseriella anops</i> (Creaser, 1936)	Amplia distribución en el centro y norte de la Península de Yucatán, en los estados de Yucatán y Quintana Roo.
	<i>Metacirolana mayana</i> (Bowman, 1987)*	Cueva Quebrada (l. t.), Cozumel, y cenote Calavera, Tulum, Quintana Roo.
	<i>Bahalana mayana</i> Bowman 1987*	Cueva Quebrada y cenote Temple of Doom, Tulum, Quintana Roo.
	<i>Cirolana (Anopsilana) adriani</i> Ortiz y Cházaro, 2015*	Especie solamente registrada en la localidad tipo: cenote Aerolito, Cozumel.

CUADRO 2. Especies de crustáceos registradas en sistemas subterráneos y superficiales asociados con el Acuífero Norte de Quintana Roo (continuación)

Clase o Subclase: Orden	Especie	Distribución
Eumalacostraca: Decapoda	<i>Procaris mexicana</i> Sternberg y Schotte, 2004*	Cueva Quebrada (l. t.), Cozumel.
	<i>Typhlatya pearsei</i> Creaser, 1936	Es la especie de átyido de mayor distribución de la Península de Yucatán. En Quintana Roo, se encuentra en cenotes del área de Akumal y centro del estado (Felipe Carrillo Puerto).
	<i>Typhlatya</i> sp	En el cenote Mayan Blue, sur de Tulum.
	<i>Jonga serrei</i> (Bouvier, 1909)	Cuba, Jamaica, Puerto Rico, Barbados, Costa Rica. Primer registro para México en el Cenote del Mar, sur de Tulum, Quintana Roo.
	<i>Agostocaris bozanici</i> Kensley, 1988*	Cenote Xkan-Ha (l. t.), Cozumel.
	<i>Agostocaris zabaletai</i> Mejía-Ortiz et al., 2017*	Cenotes Chempita (l. t.) y Tres Potrillos, Cozumel.
	<i>Anchialocaris paulini</i> Mejía-Ortiz et al., 2017*	Cenote Chempita (l. t.), Cozumel, Quintana Roo.
	<i>Barbouria cubensis</i> (Von Marstens, 1872)	Cuba, Bahamas. En México, en el cenote 27 Escalones, Akumal, Quintana Roo.
	<i>Barbouria yanezi</i> , Mejía-Ortiz et al., 2008*	Cenote Tres Potrillos (l. t.), Cozumel.
	<i>Calliasmata nohochi</i> Escobar-Briones, Camacho y Alcocer, 1997*	En cavernas asociadas con el Sistema Nohoch Nah Chich, al sur de Tulum (cenotes Crack House y Escondido).
	<i>Janicea antiguensis</i> (Chace, 1972)	Islas Andros, Cabo Verde y Grand Bahama. En Cueva Quebrada, Cozumel, Quintana Roo.
	<i>Parhippolite sterreri</i> (Hart y Manning, 1981)	Bermuda, Bahamas. En México, en Cueva Quebrada, Cozumel.

(continúa)

CUADRO 2. Especies de crustáceos registradas en sistemas subterráneos y superficiales asociados con el Acuífero Norte de Quintana Roo (finaliza)

Clase o Subclase: Orden	Especie	Distribución
Eumalacostraca: Decapoda	<i>Yagerocaris cozumel</i> Kensley, 1988*	Cenote Aerolito (l. t.), Cueva Quebrada en Cozumel y cenote Edén, Puerto Aventuras, Quintana Roo.
	<i>Triacanthoneus akumalensis</i> Álvarez et al., 2012*	Cenote Aak Kimin (l. t.), Akumal, Quintana Roo.
	<i>Macrobrachium acanthurus</i> (Wiegman, 1836)	Golfo de México, Península de Yucatán y Caribe.

Peces

Se considera que la fauna íctica que habita en toda la Península de Yucatán es relativamente pobre, con un inventario de alrededor de 100 especies (Minckley et al., 2009, p. 27); unas 46 de estas habitan en el Acuífero Norte de Quintana Roo, y entre ellas, cinco se califican como endémicas (cuadro 3).

CUADRO 3. Especies de peces registradas en las manifestaciones endo y exocársticas asociadas con el Acuífero Norte de Quintana Roo

Orden: Familia	Especie	Distribución
Rajiformes: Urolophidae	<i>Urolophus jamaicensis</i> (Cuvier, 1817)	Amplia: Nueva Jersey, Brasil, las Antillas, Golfo de México, Quintana Roo.
Elopiiformes: Elopidae	<i>Megalops atlanticus</i> (Valenciennes en Cuvier y Valenciennes, 1847)	Desde Nueva Escocia hasta Argentina. África occidental, Golfo de México, Chiapas, Quintana Roo.
Clupeiformes: Engraulidae	<i>Anchoa parva</i> (Meek y Hildebry, 1923)	Desde Yucatán hasta las Antillas y Venezuela, excepto en Antillas menores.

(continúa)

CUADRO 3. Especies de peces registradas en las manifestaciones endo y exocársticas asociadas con el Acuífero Norte de Quintana Roo (continuación)

Orden: Familia	Especie	Distribución
Clupeiformes: Clupeidae	<i>Harengula clupeola</i> (Cuvier, 1829)	Del sur de Florida y las Bahamas a Brasil, Golfo de México, Quintana Roo.
	<i>Harengula jaguana</i> Poey, 1865	Nueva Jersey y Bermuda, Florida, Golfo de México, Quintana Roo, Caribe hasta el sur de Brasil.
Batrachoidiformes: Batrachoididae	<i>Opsanus beta</i> (Goode y Bean, 1879)	De las Bahamas, Florida, periferia del Golfo de México a Yucatán y norte de Quintana Roo.
Mugiliformes: Mugilidae	<i>Agonostomus monticola</i> (Brancroft, 1834)	Ambas vertientes de América. Atlántico: del sureste de Carolina del Norte al sur de Venezuela. Pacífico: de Sonora y Baja California Sur a Colombia e islas Galápagos.
	<i>Joturus pichardi</i> Poey, 1860	De río Nautla, Veracruz, México, a río Chagres, Panamá.
	<i>Mugil curema</i> Cuvier y Valenciennes, 1836	África occidental y ambas costas de América. Atlántico: de Cabo Cod a Brasil. Pacífico: de San Diego, California, a Chile.
Atheriniformes: Atherinidae	<i>Atherinomorus atipes</i> (Müller y Troschel, 1847)	De Florida a Venezuela, Golfo de México y Quintana Roo.
	<i>Strongylura notata</i> (Poey, 1860)	Atlántico: Bermuda, Florida, Bahamas y Antillas menores. En México: de laguna Tamiahua a sur de Quintana Roo.
	<i>Strongylura timucu</i> Wal- baum, 1792	Florida y Bahamas, sur del Golfo de México, Quintana Roo, Brasil.
Ophidiiformes: Bythitidae	<i>Strongylura marina</i> (Wal- baum, 1792)	De Maine a Brasil, también en costas africanas, de Senegal a Zaire. En el Golfo de México, Quintana Roo y Oaxaca.
	<i>Ogilbia pearsei</i> (Hubbs, 1938) ^{*(P)}	Yucatán y Tulum, Quintana Roo, México. Troglóbio.
Cyprinodontiformes: Fundulidae	<i>Lucania parva</i> (Baird y Girard, 1855)	De Massachusetts a Península de Yucatán, incluido el Golfo de México y norte de Quintana Roo, incluido Cozumel.

(continuúa)

CUADRO 3. Especies de peces registradas en las manifestaciones endo y exocársticas asociadas con el Acuífero Norte de Quintana Roo (continuación)

Orden: Familia	Especie	Distribución
Cyprinodontiformes: Poeciliidae	<i>Belonesox belizanus</i> Kner, 1860	De Veracruz a Costa Rica. Numerosas localidades de la Península de Yucatán, incluidas lagunas costeras y lagunas de Quintana Roo.
	<i>Gambusia yucatanana</i> Regan, 1914	De Veracruz a Guatemala y Belice. Frecuente en la Península de Yucatán, Campeche y noreste de Chiapas.
	<i>Poecilia mexicana</i> Steindachner, 1863	Del río de San Juan Nuevo León a Guatemala. Común en Quintana Roo.
	<i>Poecilia orri</i> Fowler, 1943	De Yucatán a Honduras. Común en lagunas y cenotes costeros de Quintana Roo.
	<i>Poecilia velifera</i> (Regan, 1914) ^{*(A)}	Cenotes costeros del norte de Quintana Roo, incluyendo Isla Mujeres y Cozumel, con Tulum como límite sur.
	<i>Heteryria bimaculata</i> (Heckel, 1848)	De río Misantla, México, a Nicaragua, presente en todo Quintana Roo. Introducido al alto Balsas y Xochimilco.
Cyprinodontiformes: Cyprinodontyidae	<i>Cyprinodon artifrons</i> Hubbs, 1936 *	Progreso (Yucatán), Celestún, Bacalar, Uvero, Xcalak, lagunas interiores de Cozumel e Isla Mujeres, Quintana Roo.
	<i>Floridichthys polyommus</i> Hubbs, 1936 *	Golfo de México, franja costera de la Península de Yucatán y Caribe.
	<i>Garmanella pulchra</i> Hubbs, 1936	Franja costera de Yucatán, México, a Cozumel, Belice. Incluido Cozumel, Quintana Roo.
Synbranchiformes: Synbranchidae	<i>Ophisternon infernale</i> (Hubbs, 1938) *	Cuevas y cenotes de Yucatán y Quintana Roo.
Perciformes: Centropomidae	<i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)	Atlántico oeste, de Norte a Sudamérica. Permanente en Chacmochuc, Quintana Roo.

(continúa)

CUADRO 3. Especies de peces registradas en las manifestaciones endo y exocársticas asociadas con el Acuífero Norte de Quintana Roo (continuación)

Orden: Familia	Especie	Distribución
Perciformes: Lutjanidae	<i>Lutjanus griseus</i> (Linnaeus, 1758)	Carolina del Norte, Bermuda, Brasil, Bahamas, Golfo de México y Quintana Roo.
Perciformes: Gerreidae	<i>Eucinostomus harengulus</i> Goode y Bean, 1879	De Florida a Bahía, Brasil, Golfo de México y Quintana Roo.
	<i>Eucinostomus jonesi</i> (Günther, 1879)	De Florida a Centroamérica, Golfo de México y Quintana Roo.
	<i>Eugerres plumieri</i> (Cuvier, 1830)	De Carolina del Sur a Bahía, Brasil, Golfo de México y Quintana Roo.
	<i>Gerres cinereus</i> Walbaum, 1792	Atlántico: Florida, Golfo de México, Bermuda, Río de Janeiro y el Caribe. Pacífico: del Golfo de California a Perú y las Galápagos.
Perciformes: Eleotridae	<i>Gobiomorus dormitor</i> Lacepède, 1800	Del sur de Florida a Surinam, incluyendo Golfo de México, Quintana Roo y Antillas.
	<i>Bathygobius soporator</i> (Valenciennes, 1837)	En el Atlántico occidental, Carolina del Norte a Río de Janeiro, Brasil. Circum-tropical. En Golfo de México y Quintana Roo, incluidas lagunas de Cozumel.
	<i>Evorthodus lyricus</i> (Girard, 1858)	De la Bahía de Chesapeake a Brasil y las Antillas. Al Norte y Golfo de México y Quintana Roo. Ocasional en lagunas y cenotes costeros de Quintana Roo.
Tetraodontiformes: Ostraciidae	<i>Lactophrys quadricornis</i> (Linnaeus, 1758)	Atlántico oeste de Norte a Sudamérica, Caribe, Golfo de México.
Siluriformes: Pimelodidae	<i>Rhamdia guatemalensis</i> (Günther, 1864) ^(Pr)	De Veracruz y Tehuantepec, franja costera de la Península de Yucatán a Panamá.

(continúa)

CUADRO 3. Especies de peces registradas en las manifestaciones endo y exocársticas asociadas con el Acuífero Norte de Quintana Roo (continuación)

Orden: Familia	Especie	Distribución
Perciformes: Cichlidae	<i>Archocentrus octofasciatus</i> (Regan, 1903)	Veracruz, México, a Honduras, Belice. Común en Quintana Roo y la Península de Yucatán.
	" <i>Cichlasoma</i> " <i>urophthalmus</i> (Günther, 1862)	De río Coatzacoalcos e Isla Mujeres, México, a Nicaragua y Guatemala.
Perciformes: Cichlidae	" <i>Cichlasoma</i> " aff. <i>friedrichsthalii</i> (Heckel, 1840)	De río Coatzacoalcos, México, a Belice y Guatemala.
	" <i>Cichlasoma</i> " <i>salvini</i> (Günther, 1862)	De río Papaloapan, México, a Guatemala.
	" <i>Cichlasoma</i> " <i>synspilum</i> (Hubbs, 1935)	Del Usumacinta al río Belice, Guatemala.
	" <i>Cichlasoma</i> " <i>robertsoni</i> (Regan, 1905)	De río Coatzacoalcos a Honduras y Belice. Sur y centro de Quintana Roo.
	<i>Petenia splendida</i> Günther, 1862	Del río Grijalva, México, a Guatemala y Belice. Introducido en la presa de Temascal, Oaxaca. Común en el sur de Quintana Roo.
Perciformes: Eleotridae	<i>Eleotris perniger</i> (Cope, 1871)	De Carolina del Sur a Bermuda y Cuenca del Caribe.
	<i>Gobiomorus dormitor</i> Lacépède, 1800	Del este de Florida a Texas, las Indias Occidentales hasta Surinam.
Perciformes: Gobiidae	<i>Lophogobius cyprinoides</i> (Pallas, 1770)	De Bermuda y Florida a Venezuela. Golfo de México y Quintana Roo.

Nota: El (*) señala a especies consideradas como endémicas. (P^o) indica especie sujeta a protección especial, (A) especie amenazada y (P^o) especie en peligro de extinción, según la NOM-059-ECOL (2001). El nombre "Cichlasoma" se usa entre comillas debido a que así se denota la ubicación taxonómica incierta y la ausencia de una definición clara del género de este grupo de cíclidos mesoamericanos (véase discusión de Rush Miller, 2009).

Discusión y conclusiones

La importancia de poliquetos, peces y crustáceos como habitantes de sistemas acuáticos es diversa. Por ejemplo, son grupos de organismos considerados como bioindicadores valiosos, debido a que sus variaciones en abundancia o diversidad pueden usarse para realizar evaluaciones de calidad del agua. Su presencia o información biológica se complementa con análisis fisicoquímicos para constituir y generar métodos integrales, que permitan conocer la salud de los sistemas acuáticos.

En México se ha probado la utilidad como bioindicadores de solamente algunas especies de peces, crustáceos y poliquetos (entre otros organismos), que habitan sistemas acuáticos epicontinentales y superficiales (De la Lanza-Espino, Hernández y Carbajal, 2000, p. 648). Sin embargo, el uso de la misma fauna, entre regiones distintas del país, es limitado debido a las diferencias de los fenómenos que dieron origen y subsecuentes características distintas de los sistemas acuáticos dominantes en el sureste de México.

Por otro lado, el estado de Quintana Roo se reporta como una región donde el número de especies de invertebrados registrados se encuentra entre los más elevados de México (Cruz-Angón y Pozo, 2011). Esto resulta particularmente importante en un país considerado como megadiverso; es decir, el inventario consignado aquí nos muestra que en el norte de Quintana Roo habita hasta 46 % del total de especies de peces (asociados con ambientes dulceacuícolas y anquihalinos) registradas en toda la Península de Yucatán.

Además, se han registrado unas 2 049 especies de invertebrados acuáticos en Quintana Roo (Cruz-Angón y Pozo, 2011), lo que corresponde alrededor de 17 % de las 12 000 especies de invertebrados acuáticos reportadas en México por Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008, p. 322).

Con base en la información obtenida después de la revisión, y aunque dentro del grupo de los peces, el número de especies endémicas es bajo en el Acuífero Norte de Quintana Roo (apenas representa 10.8 % del total); es notable que para los crustáceos (macro y micro) de esta misma región, estos son un poco más de la mitad del total de especies registradas, y las posibilidades de encontrar estas mismas condiciones para los poliquetos son amplias, principalmente porque los estudios se han enfocado en áreas de influencia marina con la descripción de nuevas especies (Ruiz-Ramírez y Salazar-Vallejo, 2001, p. 122;

Delgado-Blas, 2004; Tovar-Hernández y Salazar-Vallejo, 2006; Delgado-Blas, 2008, p. 17; Ruiz-Ramírez y Harris, 2008, p. 7; Tovar-Hernández y Salazar-Silva, 2008, p. 33; Londoño-Mesa, 2009, p. 93).

La figura 1 muestra claramente que el mayor número de registros de especies endémicas (un poco más de 60 %) se concentra en el Acuífero Norte de Quintana Roo, en particular al sur del municipio de Solidaridad, en cenotes y cavernas cercanos a la ciudad de Tulum. Es materia pendiente determinar si esto se debe a un mayor esfuerzo de colecta en un sitio considerado como importante turísticamente (Gerard, 2000, p. 19) o porque de manera natural constituye una región de alto endemismo.

Unas 25 especies de crustáceos endémicos del norte de Quintana Roo solo han sido registradas en la localidad tipo, esto es, la localidad geográfica donde se colectan los organismos que reciben una descripción científica por primera vez; la mayoría de estas localidades son cavernas cercanas a la ciudad de Tulum, o cavernas en la isla de Cozumel.

El grupo de crustáceos con mayor riqueza de especies que se distribuyen en la región es el perteneciente al orden Decapoda, y los grupos con mayor cantidad de endémicos en relación con el número de especies inventariadas son Remipedia, Ostracoda y Amphipoda.

Respecto a los peces, algunos registros de estos son excepcionales, como el de *S. notata*, considerada como especie marina, pero registrada excepcionalmente en agua dulce; o el de *L. griseus*, ya que es el único pargo reportado en cenotes.

Las razones por las que algunas especies de peces se consideran como amenazadas o en peligro de extinción se vinculan con la disminución de su densidad poblacional, o con la fragilidad de su hábitat debido a la contaminación. Tal es el caso del pez ciego troglobio *O. pearsei* (Schmitter-Soto, 1998, p. 239). Probablemente las poblaciones de *P. velifera* que habitan los sistemas del corredor Cancún-Tulum se encuentren amenazadas por la intensa actividad turística de la región (Schmitter-Soto, 1998, p. 239).

El grupo de peces más notable, dada su alta frecuencia y elevada abundancia en todo Quintana Roo, es el formado por *G. yucatanana*, *H. bimaculata*, *P. mexicana*, *P. orri*, *B. belizanus*, “C.” *urophthalmus*, “C.” aff. *friedrichsthali*, “C.” *salvini*, “C.” *synspilum*, *A. octofasciatus* y *P. splendida*. “*Cichlasoma*” *urophthalmus*, “C.”

synspilum y *P. splendida*, los cuales son importantes como recurso pesquero en las aguas interiores en toda la Península de Yucatán.

Le siguen en relevancia las especies principalmente dulceacuícolas (“*C.*” *synspilum*, *A. octofasciatus*), con algunos casos de especies oligohalinas (“*C.*” *salvini*, “*C.*” *robertsoni*) o eurihalinas (*G. yucatanana*, *P. orri*), las cuales agrupan alrededor de 20 % de la fauna de peces registrada en la región. Por supuesto, también se ha reportado la presencia de especies con distribución primordialmente caribeña, como *A. parva*, *A. atipes*, *Ch. antennatus* y *G. pulcra*.

Agradecimientos

A la Universidad de Quintana Roo, Unidad Académica Cozumel, y al Cuerpo Académico Vulnerabilidad y Biodiversidad de Sistemas Acuáticos Continentales y Costeros.

Fuentes consultadas

- Aguayo, J., Bello, R., Vecchio, M., Araujo, J. y Basañez, M. (1980). Estudio sedimentológico en el área de Tulum-Cancún-Isla Mujeres, Estado de Quintana Roo, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, *XLI*(1-2), 15-32.
- Álvarez-Guillén, H., García-Abad, M. C., Villalobos-Zapata, G. J. y Yáñez-Arancibia, A. (1986). Prospección ictioecológica en la zona de pastos marinos de la laguna arrecifal en Puerto Morelos, Quintana Roo, Verano 1984. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, *13*(3), 317-336.
- Álvarez-Noguera, F. e Iliffe, T. (2008). Fauna anquihalina de la Península de Yucatán. En F. Álvarez y G. A. Rodríguez Almaraz (eds.), *Crustáceos de México, estado actual de su conocimiento* (pp. 379-418). México: Universidad Autónoma de Nuevo León/Secretaría de Educación Pública, Programa de Mejoramiento del Profesorado.
- Álvarez-Noguera, F., Iliffe, T. M., González, B. y Villalobos, J. L. (2012). *Triacanthoneus akumalensis*, a new species of alpheid shrimp (Crustacea: Caridea: Alpheidae) from an anchialine cave in Quintana Roo, Mexico. *Zootaxa*, 3154, 61-68.

- Bearez, P. (1996). Lista de los peces marinos del Ecuador continental. *Revista de Biología Tropical*, 44(2), 731-741.
- Beddows, P. (2006). *Hidrogeología e hidrodinámica de los sistemas de cuevas sumergidas en Quintana Roo. Memorias del Foro Estatal de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico “El Sistema hidrológico de Quintana Roo”*. México: Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal de Quintana Roo, Subgerencia de Programas Rurales y Participación Social.
- Botosaneanu, L. e Iliffe, T. M. (1997). Four new stygobitic cirrolanids (Crustacea: Isopoda) from the Caribbean – with remarks on intergeneric limits in some cirrolanids. *Bulletin de L’Institute Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Biologie*, 67, 77-94.
- Botosaneanu, L. e Iliffe, T. M. (2002). Stygobitic isopod crustaceans, already described or new, from Bermuda, the Bahamas, y Mexico. *Bulletin de L’Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Biologie*, 72, 101-112.
- Caballero-Vázquez, J. A., Gamboa-Pérez, H. C. y Schmitter-Soto, J. J. (2005). Composition and spatio-temporal variation of the fish community in the Chacmochuc lagoon system, Quintana Roo, Mexico. *Hidrobiológica*, 12(2), 215-225.
- Cruz-Angón, A. y Pozo, C. (2011). Introducción. En C. Pozo, N. Armijo Canto y S. Calmé (eds.), *Riqueza biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación* (Tomo I) (pp. 15-23). México: El Colegio de la Frontera Sur/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Gobierno del Estado de Quintana Roo/Programa de Pequeñas Donaciones.
- Delgado-Blas, V. H. (2004). Two new species of *Paraprionospio* (Polychaeta: Spionidae) from de Grand Caribbean region and comments of the genus status. *Hydrobiologia*, 520, 189-198.
- Delgado-Blas, V. H. (2008). *Polydora* and related genera (Polychaeta: Spionidae) from the Grand Caribbean region. *J. Nat. Hist.*, 42(1), 1-19.
- Escobar-Briones, E., Camacho, M. E. y Alcocer, J. (1997). *Calliasmata nohochi*, new species (Decapoda: Caridea: Hippolytidae), from anchialine cave systems in continental Quintana Roo, Mexico. *Journal of Crustacean Biology*, 17(4), 733-744.

- Escolero, O., Marín, L. E., Steinich, B., Pacheco, J. A., Molina Maldonado, A. y Anzaldo, J. M. (2005). Geochemistry of the hydrogeological reserve of Mérida, Yucatán, México. *Geofísica Internacional*, 44(3), 301-314.
- Fiers, F., Ghene, V. y Suárez-Morales, E. (2000). New species of continental cyclopoid copepods (Crustacea, Cyclopoida) from Yucatán Peninsula, Mexico. *Studies of Neotropical Fauna y Environment*, 35, 209-251.
- Fiers, F., Reid, J. W., Iliffe, T. M. y Suárez-Morales, E. (1996). New hypogean cyclopoid copepods (Crustacea) from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Contributions to Zoology*, 66(2), 65-102.
- Frontana-Urbe, S. C. y Solís-Weiss, V. (2011). First records of polychaetous annelids from Cenote Aerolito (Sinkhole and anchialine cave) in Cozumel Island, Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies*, 73(1), 1-10.
- Gerard, S. (2000). *The cenotes of the Riviera Maya*. Tallahassee: Rose Printing.
- Holsinger, J. R. (1977). A new genus y two new species of subterranean amphipod crustaceans (*Gammaridae* s. lat.) from the Yucatán Peninsula in México. *Association for Mexican Cave Studies, Bulletin*, 6, 15-25.
- Holsinger, J. R. (1990). *Tuluweckelia cernua*, a new genus y species of stygobiont amphipod crustacean (Hadziidae) from anchialine caves on the Yucatan Peninsula in Mexico. *Beaufortia*, 41(14), 97-107.
- Iliffe, T. M. (1992). An annotated list of the troglobitic anchialine y freshwater cave fauna of Quintana Roo. En D. Navarro y E. Suárez-Morales (eds.), *Diversidad biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México* (Vol. II) (pp. 197-215). Chetumal: Centro de Investigaciones de Quintana Roo.
- Iliffe, T. M. (1999-2005). *Anchialine caves y cave fauna of the world*. Texas: Texas A & M University at Galveston. Recuperado de http://www.tamug.edu/cavebiology/fauna/shrimp/C_nohochi.html.
- Kallmeyer, D. E. y Carpenter, J. H. (1996). *Stygiomysis cokei*, new species, a troglobitic mysid from Quintana Roo, Mexico (Mysidacea: Stygiomysidae). *Journal of Crustacean Biology*, 16(2), 418-427.
- Kornicker, L. S. e Iliffe, T. M. (2000). Myodocopid Ostracoda from Exuma Sound, Bahamas, y from marine caves y Blue Holes in the Bahamas, Bermuda y Mexico. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 606, 1-98.

- Lanza-Espino, G. de la, Hernández, P. S. y Carbajal, P. J. L. (2000). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores)*. México: Plaza y Valdés.
- Leis, J. M. (2006). Nomenclatura y distribution of the species of the porcupinefish family Diodontidae (Pisces, Teleostei). *Memoirs of Museum Victoria*, 63(1), 77-90.
- Llorente-Bousquets, J. y Ocegueda, S. (2008). Estado del conocimiento de la biota. En *Capital natural de México (Vol. I). Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 283-322). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Londoño-Mesa, M. H. (2009). Terebellidae (Polychaeta: Terebellida) from the Grand Caribbean region. *Zootaxa*, 2320, 1-93.
- Mejía-Ortiz, L. M., Yáñez, G. y López Mejía, M. (2017). Anchialocarididae, a new family of anchialine decapods and a new species of the genus *Agostocaris* from Cozumel Island, Mexico. *Crustaceana*, 90(4), 381-398.
- Mejía-Ortiz, L. M., Zarza, E. y López Mejía, M. (2008). *Barbouria yanezi* sp. nov., a new species of cave shrimp (Decapoda, Barbouriidae) from Cozumel Island, Mexico. *Crustaceana*, 81(6), 663-672.
- Minckley, W. L., Miller, R. R., Barbour, C. D., Schmitter-Soto, J. J. y Norris, S. M. (2009). Ictiogeografía histórica. En R. Rush Miller, *Peces dulceacuícolas de México* (pp. 27-53). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Navarro-Mendoza, M. (1988). *Inventario íctico y estudios ecológicos preliminares en los cuerpos de agua continentales en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an y áreas circunvecinas en Quintana Roo, México. Informe Técnico. CIQROO/CONACYT/USFWS*.
- Neiber, M. T., Hansen, F. C., Iliffe, T. M., González, B. C. y Koenemann, S. (2012). Molecular taxonomy of *Speleonectes fuchscockburni*, a new pseudocryptic species of Remipedia (Crustacea) from an anchialine cave system on the Yucatán Peninsula, Quintana Roo, Mexico. *Zootaxa*, 3190, 31-46.
- Norma Oficial Mexicana. (NOM-059-ECOL-2001). Protección ambiental, Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. México.

- Olesen, J., Meland, K., Glenner, H., Van Hengstum, P. J. e Iliffe, T. M. (2017). *Xibalbanus cozumelensis*, a new species of Remipedia (Crustacea) from Cozumel, Mexico, and a molecular phylogeny of *Xibalbanus* of the Yucatán Peninsula. *European Journal of Taxonomy*, 316, 1-27.
- Ortiz, M. y Cházaro, S. (2015). A new species of Cirolanid Isopod (Peracarida, Isopoda) collected from Cenote Aerolito, Cozumel Island, Northwestern Caribbean. *Crustaceana*, 88(2), 152-163.
- Ortiz, M. y Winfield, I. (2015). A new amphipod species (Peracarida: Amphipoda: Ampithoidae) collected from Cenote Aerolito, Cozumel Island, Quintana. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 332-336.
- Pesce, G. L. e Iliffe, T. M. (2002). New records of cave-dwelling mysids from the Bahamas y Mexico with description of *Palaumysis bahamensis* n. sp. (Crustacea: Mysidacea). *Journal of Natural History*, 36(3), 265-278.
- Rocha, C. E. F., Iliffe, T. M., Reid, J. W. y Suárez-Morales, E. (1998). A new species of *Halicyclops* (Copepoda: Cyclopoida, Cyclopidae) from cenotes of the Yucatan Peninsula, Mexico, with an identification key for the species of the genus from the Caribbean region y adjacent areas. *Sarsia*, 83, 387-399.
- Ruiz-Ramírez, J. D. y Harris, L. H. (2008). *Branchiosyllis salazari* sp. n. (Polychaeta: Syllidae) del Caribe noroccidental y comentarios sobre el material tipo de *B. exilis* (Gravier, 1900). *Anim. Biod. and Conserv.*, 31(2), 1-9.
- Ruiz-Ramírez, J. D. y Salazar-Vallejo, S. I. (2001). Exogoninae (Polychaeta: Syllidae) del Caribe mexicano con una clave para las especies del Gran Caribe. *Rev. Biol. Trop.*, 49(1), 117-140.
- Rush Miller, R. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sabido-Villanueva, P. (2011). *Riqueza de copépodos (Calanoida, Cyclopoida) limnéticos en sistemas cársticos de Quintana Roo* (Tesis de licenciatura). México: Universidad de Quintana Roo, División de Desarrollo Sustentable.
- Sánchez-Pinto, I., González-Herrera, R. y Perry, E. (2005). Hydrodynamic behavior of the Yucatan aquifer. A perspective on the hydraulic conductivity estimation. *Espelunc@ Digital*, 8-20.

- Schmitter-Soto, J. J. (1998). *Catálogo de los peces continentales de Quintana Roo*. San Cristóbal de Las Casas: El Colegio de la Frontera Sur.
- Suárez-Morales, E. e Iliffe, T. M. (2005). A new *Exumella* (Crustacea: Copepoda: Ridgewayiidae) from anchialine waters of the western Caribbean, with comments on regional biogeography. *Bulletin of Marine Science*, 77(3), 409-423.
- Suárez-Morales, E., Cervantes-Martínez, A., Gutiérrez-Aguirre, M. A. e Iliffe, T. M. (2017). A new *Speleophria* (Copepoda, Misophrioida) from an anchialine cave of the Yucatán Peninsula with comments on the biogeography of the genus. *Bull. Mar. Sci.*, 93(3), 863-878.
- Suárez-Morales, E., Gutiérrez-Aguirre, M. A., Cervantes-Martínez, A. e Iliffe, T. M. (2017). A new anchialine *Stephos* Scott from the Yucatan Peninsula with notes on the biogeography and diversity of the genus (Copepoda, Calanoida, Stephidae). *ZooKeys*, 671, 1-17.
- Tapia-García, M., Suárez-Núñez, C., Cercenares, G., Guevara, L. E., Macuitl-Montes, M. C. y García-Abad, M. C. (1998). Composición y distribución de la ictiofauna en la Laguna del Mar Muerto, Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 46(2), 277-284.
- Tovar-Hernández, M. A. y Salazar-Silva, P. (2008). Catalogue of Sabellidae Latreille, 1825 (Polychaeta) from the Grand Caribbean. *Zootaxa*, 1894, 1-22.
- Tovar-Hernández, M. A. y Salazar-Vallejo, S. I. (2006). Sabellids (Polychaeta: Sabellidae) from the Grand Caribbean. *Zool. Stud.*, 45(1), 24-66.
- White, W. B., Culver, D. C., Herman, J. S., Kane, T. C. y Mylroie, J. E. (1995). Karst lands. *American Scientist*, 83, 450-459.
- Yager, J. (1987). *Speleonectes tulumensis*, n. sp. (Crustacea, Remipedia) from two anchialine cenotes of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Stygologia*, 3, 160-166.