



El Colegio de la Frontera Sur

Ecología de tardígrados marinos en dos zonas arrecifales
con diferente intensidad turística de Quintana Roo

Tesis

presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en Ecología y Sistemática

Por

Abril Anguas Escalante

2019



El Colegio de la Frontera Sur

Chetumal, Q Roo a 4 de diciembre de 2019

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de: Abril Anguas Escalante hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada: Ecología de tardígrados marinos en dos zonas arrecifales con diferente intensidad turística de Quintana Roo.

para obtener el grado de **Maestro (a) en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural**

	Nombre	Firma
Director	<u>Dr. Alberto de Jesús Navarrete</u>	_____
Asesor	<u>Dra. Teresa Álvarez Legorreta</u>	_____
Asesor	<u>Dr. Luis Fernando Carrera Parra</u>	_____
Sinodal adicional	<u>Dr. Nancy Cabanillas Terán</u>	_____
Sinodal adicional	<u>Dr. David González Solís</u>	_____
Sinodal suplente	<u>Dr. Miguel Ángel Ruiz Zárate</u>	_____

Dedicatoria

A Argelia Pérez Angulo por contribuir sustancialmente a mi estancia en el extranjero. Su acompañamiento emocional y económico, me sirvieron para sentirme segura en mi primer viaje fuera del país. El conocimiento adquirido en este viaje es muy importante para mi formación académica y para concluir esta tesis.

Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a las personas que permitieron que esta tesis sea posible. A los biólogos, Abel Abraham Vargas Esposito, José Olivia, Francisco Antonio Martínez, Stephany Manzo Melchor por su apoyo en el trabajo de campo. Al biólogo Wilbert Andrés Pérez Pech por su ayuda en la revisión de muestras e identificación de los géneros de tardígrados.

A mi comité tutelar conformado por mi director de tesis el Dr. Alberto de Jesús Navarrete y mis asesores, la Dra. Teresa Álvarez Legorreta y el Dr. Luís Fernando Carrera Parra. También quiero agradecer al Dr. Jesper Guldberg Hansen por su contribución en la identificación taxonómica a nivel específico y por recibirme en el museo de historia natural de la universidad de Copenhague para realizar una estancia de investigación. Así mismo agradezco los comentarios y revisiones por parte de los sinodales: Dra. Nancy Cabanillas Terá, Dr. David González Solís y al Dr. Miguel Ángel Ruiz Zárata. Por último agradezco a Erica DeMilio por su amable ayuda durante mi estancia en la ciudad de Copenhague, Dinamarca.

Contenido

Resumen.....	1
Capítulo I. Introducción.....	2
Capítulo II. A New Species of Tardigrada from A Caribbean Reef Lagoon, <i>Florarctus Yucatanensis</i> Sp. Nov. (Halechiniscidae: Florarctinae) (Manuscrito enviado a la revista cahier de biologie marine).....	4
Capítulo III. Ecología y diversidad de tardígrados en Xcalak y Mahahual, Quintana Roo.....	17
Resumen.....	17
Introducción.....	17
Materiales y Métodos.....	18
Resultados.....	22
Comentarios taxonómicos.....	29
Discusión y conclusión.....	36
Literatura citada.....	38
Capítulo IV. Discusión y conclusiones generales.....	41
Literatura citada.....	42

Resumen

Cerca de 84 especies y subespecies de tardígrados marinos están registradas para América, de las cuales 39 especies se distribuyen en el Atlántico tropical; de estas, 29 especies se distribuyen dentro de la región denominada Gran Caribe, el cual incluye las costas mexicanas del Golfo de México y de la península de Yucatán. Sin embargo, los registros en el país se limitan a la identificación taxonómica de cinco géneros para Quintana Roo, y poco se ha abordado sobre cuestiones ecológicas. En este estudio se recolectaron 98 muestras de sedimento en dos áreas arrecifales con diferente intensidad turística. Para el estudio de los tardígrados marinos. Se obtuvieron los valores de diversidad, los cuales se confrontaron con ocho variables ambientales (salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, tamaño de grano, porcentaje de materia orgánica y concentraciones de amonio, ortofosfatos y nitratos) a través de un análisis de Correspondencia Canónica (CCA). Un total de 361 tardígrados fueron colectados (272 individuos en Xcalak y 89 individuos en Mahahual), de los cuales se identificaron 19 taxones. El 42 % pudieran representar posibles nuevas especies, el presente trabajo provee la descripción de *Florarctus yucatanensis* sp. nov., especie que se caracteriza por tener una cutícula dorsal arrugada, alas esculpidas y un caestus continuo con proyecciones de posición y morfología que la diferencian de las especies actualmente conocidas para el género. Se observaron diferencias en la composición de taxones entre las localidades, siete taxones fueron exclusivas para Xcalak y solo 2 para Mahahual. Además, Xcalak presentó los valores más altos de riqueza y diversidad. Los análisis estadísticos de la prueba de t de Hutcheson y los CCA mostraron que la diversidad se relacionó con la zonación arrecifal y las concentraciones de amonio y ortofosfatos.

Palabras clave: Heterotardigrada, agua intersticial, turismo, arrecifes coralinos, diversidad.

Capítulo I. Introducción

México es reconocido como un país megadiverso (Martínez-Meyer *et al.*, 2014); sin embargo, el interés y los esfuerzos enfocados al estudio entre distintos grupos biológicos ha sido desproporcionado. Algunos taxones permanecen desconocidos o con registros que los documentan a nivel de grupos taxonómicos superiores (e.g. Baguley *et al.*, 2006; Landers *et al.*, 2012; Reuscher *et al.*, 2017; Cisterna-Céliz *et al.*, 2019). Este hecho se presenta en la mayoría de los taxones que componen la meiofauna, componente biológico compuesto por alrededor de 25 filos (Giere, 2009), entre los que se encuentran los tardígrados marinos, micrometazoarios que pueden habitar el intersticio del fondo marino y que presentan un rango de tallas corporales de 50 a 1500µm (Fontoura *et al.*, 2017).

El filo Tardigrada está constituido por dos clases: Eutardigrada y Heterotardigrada (Fernández-Álamo, 2012), las cuales incluyen tardígrados con hábitos marinos. Sin embargo, la clase Eutardigrada solo presenta cuatro especies marinas (de los géneros *Halobiotus* y *Thulinus*), mientras que en Heterotardigrada están mejor representados, ocupando todo el orden Arthrotardigrada y dos géneros del orden Echiniscoidea (Echiniscoididae, géneros: Echiniscoides y Anysonyches) (Kaczmarek *et al.*, 2015). Los tardígrados marinos son el grupo menos estudiado dentro del filo, debido a su reducido tamaño, baja abundancia y ausencia de expertos.

Los pocos estudios científicos sobre tardígrados marinos se han centrado en el registro y descripción de nuevas especies para la ciencia (Bartels *et al.*, 2016) y es poco lo que se ha abordado sobre su ecología (Miller y Perry, 2016). A pesar de estas limitaciones, se sabe que los tardígrados marinos pueden constituir diferentes elementos en la cadena trófica, debido a sus hábitos alimenticios: detritívoros, herbívoros, depredadores, y presas (Kristensen y Hallas, 1980; Giere, 2009; Nelson, 2010). Por lo tanto, la diversidad de especies de tardígrados podría estar relacionada con la complejidad de las relaciones tróficas en la meiofauna (Renaud-Mornant y Goubault, 1981). Además, recientemente se ha revelado que altas diversidades de tardígrados son comunes en playas arenosas con baja concentración de materia orgánica,

y aunque se ha considerado que la diversidad también podría estar relacionada con la profundidad, hasta el momento ningún estudio lo ha confirmado (Renaud-Mornant y Gourbault, 1984; Hansen, 2005; Bartels *et al.*, 2018).

En México el estudio de tardígrados marinos ha sido enfocado en la identificación de géneros y no se han abordado aspectos ecológicos, solo se han registrado 5 géneros en las playas de Mahahual e Xcalak (Pérez-Pech *et al.*, 2018). El presente trabajo, tiene como objetivo determinar la variación espacio-temporal de la comunidad de tardígrados, así como su relación con los factores físico-químicos del ambiente intersticial, en estas localidades. Xcalak pertenece al Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) y aunque existen actividades turísticas, la principal fuente económica es la pesca artesanal (Buitrago-Tello *et al.*, 2012; Daltabuit-Godás *et al.*, 2006; Hoffmann, 2009), en tanto que Mahahual se posiciona en el tercer lugar a nivel nacional por la llegada de cruceros con turismo internacional (SECTUR, 2019) y recientemente (2016) ha sido incluida en la reserva de la biosfera Caribe Mexicano como parte de la zona de amortiguamiento.

Capítulo II. A new species of Tardigrada from a Caribbean reef lagoon, *Florarctus yucatanensis* sp. nov. (Halechiniscidae: Florarctinae) (Manuscrito enviado a la revista Cahier de Biologie Marine).

Running Title: A new Caribbean *Florarctus* species

A new species of Tardigrada from a Caribbean reef lagoon, *Florarctus yucatanensis* sp. nov. (Halechiniscidae: Florarctinae)

ABRIL ANGUAS-ESCALANTE^{1*}, ALBERTO DE JESÚS NAVARRETE¹, ERICA DEMILIO², WILBERT ANDRÉS PÉREZ-PECH¹ & JESPER GULDBERG HANSEN³

¹El Colegio de la Frontera Sur, Department of Systematic and Aquatic Ecology, Chetumal, Av. Centenario km 5.5, Chetumal, Quintana Roo, Mexico.

²Ryan Institute, Department of Zoology, National University of Ireland Galway, University Road, Galway, Ireland.

³Zoological Museum, Natural History Museum of Denmark, University of Copenhagen, Universitetsparken 15, DK-2100 Copenhagen, Denmark.

*corresponding author: abrilanguas@hotmail.com

Abstract

Florarctus yucatanensis sp. nov. is described from the subtidal zone of a reef lagoon located on the Mexican coast of the Yucatán Peninsula. The new species exhibits a wrinkled dorsal cuticle, sculptured alae, and continuous caestus with projections of characteristic position and morphology, by which it is clearly differentiated from all known congeners. *Florarctus yucatanensis* sp. nov. presents the first observations of a continuous granulated sculpture of the alae, distinct from the typical punctuations formed by cuticular pillars seen among all *Florarctus* species.

Key Words: Mexico, biodiversity, interstitial, meiofauna, tropical

Introduction

The diversity of marine tardigrades (Tardigrada Doyère, 1840) has been less well investigated than that of their limnoterrestrial counterparts (Fontoura et al., 2017). While the phylum is comprised of nearly 1300 species, only 228 are regarded as marine (Guidetti & Bertolani 2005, Degma & Guidetti 2007, Degma et al., 2009–2019, Hansen & Kristensen in press). These latter taxa mainly belong to the heterotardigrade orders Echinscoidea Richters, 1926 and Arthrotardigrada Marcus, 1927, with a few exceptions within Eutardigrada Richters, 1926 (e.g. genus *Halobiotus* Kristensen, 1982, *Thulinus itoi* (Tsurusaki, 1980), *Ramajendas renaudi* (Ramazzotti, 1972)). Within Arthrotardigrada, the family Halechiniscidae Thulin, 1928 exhibits high morphological diversity demonstrated by its division into six subfamilies. One of these, Florarctinae Renaud-Mornant, 1982 is recognized by the presence of lobate aliform cuticular expansions and hook-shaped peduncles supporting the digits.

Florarctus Delamare Deboutteville and Renaud-Mornant, 1965, the nominal genus of Florarctinae, contains 14 described species. The genus has a circumglobal distribution with the majority of records for *Florarctus* species originating from the coasts of tropical, subtropical, and warm temperate areas (see Kaczmarek et al., 2015; Fujimoto 2015). These species have been found in association with various sediment types in both the intertidal and subtidal zones at depths typically between 0–40 m (Kaczmarek et al., 2015). *Florarctus* species have been sporadically recovered from greater depths, but these records also originate from warm water localities (e.g. *F. hulingsi* Renaud-Mornant, 1976 from >80 m depth in the Orosei Gulf, Sardinia (De Zio Grimaldi & Gallo D'Addabbo 2001); *F. heimi* Delamare Deboutteville & Renaud-Mornant 1965, *F. hulingsi*, and *F. pulcher* from 58 m depth at Ari Atoll, Maldives (Gallo et al., 2007).

Florarctus has not been frequently reported within the Caribbean region. *Florarctus antillensis* van der Land, 1968 was described from coral sand from Curaçao (3 m depth) and later recorded from the Guadeloupe Islands (Renaud-Mornant & Gourbalt 1981, 1984). *F. antillensis* has been also been reported from localities adjacent to the Caribbean Sea on Bermuda's St. George's Island and St. David's Island (1 m and 4.5 m depth respectively) by Renaud-Mornant (1970) and an unspecified Bermudian location (1–8 m depth) by Kristensen & Sterrer (1986). The only other records of the genus from contiguous regions are those of Bartels et al., 2018, who collected two different *Florarctus* spp. from Bimini and Exumas Islands (3 m and 6 m depth respectively), Bahamas, but assignment to a known species was not possible for these taxa.

The Yucatán Peninsula is situated between the Gulf of Mexico to the north and west and the Caribbean Sea to the east. The Mesoamerican Barrier Reef System (MBRS) extends along the Yucatán Peninsula's Caribbean coast and includes a marine protected area known as Parque Nacional Arrecifes de Xcalak located in southern Quintana Roo, Mexico. Samples collected from a coral reef lagoon within this area contained tardigrade specimens representing a new species of *Florarctus*.

Materials and Methods

Sediment samples were collected from a reef lagoon at Xcalak, Quintana Roo, Mexico in September 2018. This reef lagoon has a width of 950–1200 m and a tidal range not exceeding 0.5 m. Sediment was collected from the reef ridge with a PVC corer (10 cm internal diameter, 10 cm length). Tardigrades were released from the collected sediment via fresh-water shock (Kristensen, 1983), retained on a 45 µm sieve, and fixed in 5% formalin. After staining with Rose Bengal, tardigrade specimens were manually sorted under a stereomicroscope (Nikon C-PS ZM445) at 35x of magnification. Specimens were placed on a microslide beneath a coverslip and treated with a graded series of glycerin (10, 25, 75 and 100%) before being sealed with Entellan®.

Specimens were observed on an Axio Lab A1 Carl Zeiss or Olympus BX51 microscope with magnification up to 1000x using differential interference contrast (DIC) or phase contrast (PhC). Measurements and photomicrographs were obtained using a digital camera and CellD (dp20) software.

Species description

Heterotardigrada Marcus, 1927

Arthrotardigrada Marcus, 1927

Halechiniscidae Thulin, 1928

Florarctinae Renaud-Mornant, 1982

Florarctus Delamare Deboutteville and Renaud-Mornant, 1965

Florarctus yucatanensis sp. nov.

Type material

Holotype NHMD-633994, allotype NHMD-633995 and 5 other paratypes NHMD-633996–NHMD-634000 (3 females, 1 male, 1 larva) are deposited in the Tardigrada collection of the Natural History Museum of Denmark (NHMD), Copenhagen. Other 15 paratypes (8 females, 4 males, 3 larvae) are deposited in the collection at ECOSUR, Quintana Roo, Mexico.

Type locality

Coral reef lagoon, Xcalak, Quintana Roo, Mexico (18°17'24" N, 87°49'59" W). Reef ridge, subtidal zone, 5 m depth, calcareous sand.

Etymology

The species name refers to the position of the type location on the Yucatán Peninsula.

Description

Morphometric data provided in Table 1. Body ventrally flattened with convex dorsum, cephalic region differentiated from ovoid trunk by constriction (Figs. 1; 2A, B; 3A, B). Dorsal cuticle wrinkled, without mammiliform sculpture (Fig. 3B). Ventral cuticle smooth. Cuticular aliform expansions (Figs. 1; 2A, B; 3A) consist of: frontal ala, two pairs of lateral alae (anterior and posterior), and caudal ala. Frontal ala without marginal indentations. Antero-lateral ala five-lobed, first and second lobes weakly defined, other lobes more strongly indented. Postero-lateral ala two-lobed with single strong median indentation. Caudal ala four-lobed with strong median indentation and two weak lateral indentations. Caesti of all aliform expansions continuous (Figs. 1; 2A, B; 3A). Antero-lateral caesti with four projections: a pair at the level of legs I, a pair at the level of legs II. Each pair of caestus projections comprised of anterior narrower single projection and posterior broader projection with distal bilobed expansion. Postero-lateral caesti with two projections. Anterior postero-lateral caestus projection in line with indentation of the postero-lateral ala margin. Caudal ala caestus (Figs. 1; 2A-C; 3A, C, D) with symmetric lateral projections and two weak median projections. Degree of development of median projections variable between specimens. All alae covered with granulation of irregular distribution and size, distinct from smaller, more regularly arranged pillars (Figs. 2A-C; 3A, C, D).

Mouth cone positioned ventrally. Buccal tube with three large and equally sized apophyses anterior to placoids. Stylets with well-developed furcae, stylet supports absent. Cephalic bacterial vesicles present. All cephalic cirri composed of scapus, tubular portion, and flagellum (Fig. 1). Dorsal median cirrus inserted in small groove close to anterior margin. Internal cirri inserted on anterior margin, embedded basally in frontal ala. External cirri inserted ventrally with respect to internal cirri. Lateral cirri inserted with primary clavae on common pedestals. Primary clavae tubular (longer and more robust in males), tapered distally, with basal van der Land's body and terminal pore (Figs 1; 2A, B). Secondary clavae Y-shaped, flanking mouth cone (Fig. 2E). Sense organ leg I composed of scapus and short, terminal flagellum. Sense organs legs II and III unsegmented spines. Sense organ leg IV slender papilla with basal van der Land's body and short, terminal tube. Cirri E with prominent cirrophore, pleated scapus and long, tapering spine.

Legs highly telescopic, with coxa, femur, tibia, and tarsus. Hook-shaped peduncles present on external digits (Fig. 2D). Internal digits longer than external digits. Internal claws approximately half the size of external claws and of different shape; basal section of internal claws broader, basal section of external claws narrower giving a crescent-shaped appearance. Internal claws lacking avicularia, long, thin calcar and well-developed accessory hooks present. External claws with weak avicularia and prominent calcar, accessory hooks absent (Fig. 2D).

Female gonopore typical six-lobed rosette (Fig. 2C), male gonopore simple oval opening. Anus trilobate (Fig. 2C), anterior two lobes smaller than posterior lobe. Openings of seminal receptacles positioned posterolaterally to gonopore. Seminal receptacles composed of long, highly curved ducts and lateral vesicles (Fig. 2C). Four-clawed larvae present all adult characteristics except gonopore.

Differential diagnosis

The absence of dorsal mammiliform sculpture and presence of continuous caesti in the alae are shared by *Florarctus antillensis*; *F. glareolus* Noda, 1987; *F. pulcher* De Zio Grimaldi, Lamarca, D'addabbo Gallo & Pietanza, 1999 and *F. wunai* Fujimoto, 2015. *Florarctus yucatanensis* sp. nov. can be distinguished from these species by the two symmetric lateral projections of the caudal alae caestus, which are vestigial in *F. wunai* and absent in *F. antillensis*, *F. glareolus*, and *F. pulcher*. The new species is further distinguished from all described species by the anterior postero-lateral caestus projection being in line with the indentation of the postero-lateral ala margin, by the

alae being sculptured with granulation of irregular distribution and size, and by the wrinkled nature of the dorsal cuticle.

Acknowledgements

The authors thank Abel Abraham Vargas Esposito, Stephany Manzo Melchor, Francisco Antonio Martinez and Juan José Oliva for their technical support and Laura Pavesi, Collections Manager at the Natural History Museum of Denmark for her assistance with the registration of type material.

References

Bartels P.J., Fontoura P. & Nelson D.R. 2018. Marine tardigrades of the Bahamas with the description of two new species and updated keys to the species of *Anisonyches* and *Archechiniscus*. *Zootaxa*, **4420**: 43–70. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4420.1.3>

Degma P. & Guidetti R. 2007. Notes to the current checklist of Tardigrada. *Zootaxa*, **1579**: 41–53. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1579.1.2>

Degma P., Bertolani R. & Guidetti R. 2009–2019. Actual checklist of Tardigrada species (35th Edition: 31-07-2019). <http://www.tardigrada.modena.unimo.it/miscellanea/Actual%20checklist%20of%20Tardigrada.pdf>. (viewed on 09/15/19)

Delamare Deboutteville C. & Renaud-Mornant J. 1965. Un remarquable genre de Tardigrades des sables coralliens de Nouvelle-Calédonie. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, **266**: 2581–2583.

De Zio Grimaldi S., Lamarca A., D'Addabbo Gallo M. & Pietanza R. 1999. Florarctinae of Asdhu Island, Maldives, Indian Ocean (Tardigrada, Heterotardigrada). *Italian Journal of Zoology*, **66**: 383–391. <https://doi.org/10.1080/11250009909356282>

De Zio Grimaldi S. & Gallo D'Addabbo M. 2001. Further data on the Mediterranean Sea tardigrade fauna. *Zoologischer Anzeiger*, **240**: 345–360. <https://doi.org/10.1078/0044-5231-00042>

Doyère L.M. 1840. Mémoire sur les Tardigrades. I. *Annales des Sciences Naturelles, Paris, Série 2*, **14**: 269–361.

Fontoura P., Bartels P.J., Jørgensen A., Kristensen R.M. & Hansen J.G. 2017. An illustrated dichotomous key to the genera of marine heterotardigrades (Tardigrada). *Zootaxa*, **4294 (1)**: 1–45. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4294.1.1>

- Fujimoto S. 2015.** Halechiniscidae (Heterotardigrada, Arthrotardigrada) of Oura Bay, Okinawajima, Ryuku Islands, with descriptions of three new species. *ZooKeys*, **483**: 149–166. <https://doi.org/10.3897/zookeys.483.8936>
- Gallo M., D'Addabbo R., De Leonardis C., Sandulli R. & De Zio Grimaldi S. 2007.** The diversity of Indian Ocean Heterotardigrada. *Journal of Limnology*, **66 (1s)**: 60–64. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2007.s1.60>
- Guidetti R. & Bertolani R. 2005.** Tardigrade taxonomy: an updated check list of the taxa and a list of characters for their identification. *Zootaxa*, **845 (1)**: 1–46. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.845.1.1>
- Hansen J.G. & Kristensen R.M.** In press. Tardigrada. In: A. Schmidt-Rhaesa, ed. *Guide to the Identification of Marine Meiofauna*. Pfeil-Verlag, Munich, Germany.
- Kaczmarek Ł., Bartels P.J., Roszkowska M. & Nelson D.R. 2015.** The zoogeography of marine Tardigrada. *Zootaxa*, **4037 (1)**: 1–189. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4037.1.1>
- Kristensen R.M. 1982.** The first record of cyclomorphosis in Tardigrada based on a new genus and species from Arctic meiobenthos. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, **20**: 249–270. <https://doi.org/10.1111/j.14390469.1983.tb00552.x>
- Kristensen R.M. 1983.** Loricifera, a new phylum with Aschelminthes characters from the meiobenthos. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, **21**: 163–180. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.1983.tb00285.x>
- Kristensen R.M. & Sterrer W. 1986.** Phylum Tardigrada (Water bears). In: *Marine Fauna and Flora of Bermuda. A Systematic Guide to the Identification of Marine Organisms* (W. Sterrer, ed.), pp. 265–268. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Marcus E. 1927.** Zur Anatomie und Ökologie mariner Tardigraden. *Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere*, **53**: 487–588.
- Noda H. 1987.** A new species of marine Tardigrada of the genus *Florarctus* (Heterotardigrada, Halechiniscidae) from Japan. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, **32**: 323–328.

- Ramazzotti G. 1972.** Tardigradi delle Isole Kerguelen e descrizione della nuova specie *Hypsibius (I.) renaudi*. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, **29**: 141–144.
- Renaud-Mornant J. 1970.** Tardigrades marines des Bermudes. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, Série 2^e*, **42**: 1268–1276.
- Renaud-Mornant J. 1976.** Le genre *Florarctus* Delamare Deboutteville et Renaud-Mornant, 1965, en Méditerranée; description de deux espèces nouvelles (Arthrotardigrada). *Bulletin du Muséum National D'Histoire Naturelle, Série 3^e*, **369**: 325–333.
- Renaud-Mornant J. 1982.** Sous-famille et genre nouveaux de Tardigrades marins (Arthrotardigrada). *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, Série 4^e, (Section A, 1–2)*: 89–94.
- Renaud-Mornant J. & Gourbalt N. 1981.** Premières prospections meiofaunistiques en Guadeloupe I: Les biotopes et leurs peuplements. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, Série 3, 4*: 1011–1034.
- Renaud-Mornant J. & Gourbalt N. 1984.** Premières prospections meiofaunistiques en Guadeloupe II: Communautés des sables littoraux. *Hydrobiologia*, **118**: 113–118.
- Richters F. 1926.** Tardigrada. In: *Handbuch der Zoologie, Vol. 3.* (W. Kükenthal & T. Krumbach, eds.), pp. 58–61. Walter de Gruyter & Co. Berlin and Leipzig, Germany.
- Thulin G. 1928.** Über die Phylogenie und das System der Tardigraden. *Hereditas Genetiskt Arkiv*, **11**: 207–266. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1928.tb02488.x>
- Tsurusaki N. 1980.** A new species of marine interstitial Tardigrada of genus *Hypsibius* from Hokkaido, Northern Japan. *Annotationes Zoologicae Japonenses*, **53**: 280–284.
- van der Land J. 1968.** *Florarctus antillensis*, a new tardigrade from the coral sands of Curaçao. *Studies on the Fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, **25**: 140–146.

Figure Captions

Figure 1. Composite drawing of *Florarctus yucatanensis* n. sp., female, dorsal view.

Drawing by J. G. Hansen

Figure 2. DIC-micrographs of *Florarctus yucatanensis* sp. nov. A. Holotype. B. Allotype. C. Caudal part, female paratype showing gonopore (go), anus (an), ducts of the seminal receptacles (white hollow arrows), vesicles of the seminal receptacles (white solid arrows), caudal ala with caestus and large granulations. D. Peduncles, digits and claws of leg III, male paratype. E. Secondary clavae, female paratype.

Figure 3. DIC-micrographs of *Florarctus yucatanensis* sp. nov. A. Overview, female paratype with evident caesti and large granulations in the alae. B. Sculpture of the dorsal cuticle, female paratype. C –D. Optic sections of the caudal caestus with lateral projections (white solid arrows) and medial projections (white hollow arrows).

Table Caption

Table 1. Measurements (μm) of the type series of *Florarctus yucatanensis* sp. nov. N= number of individuals measured.

Figure 1

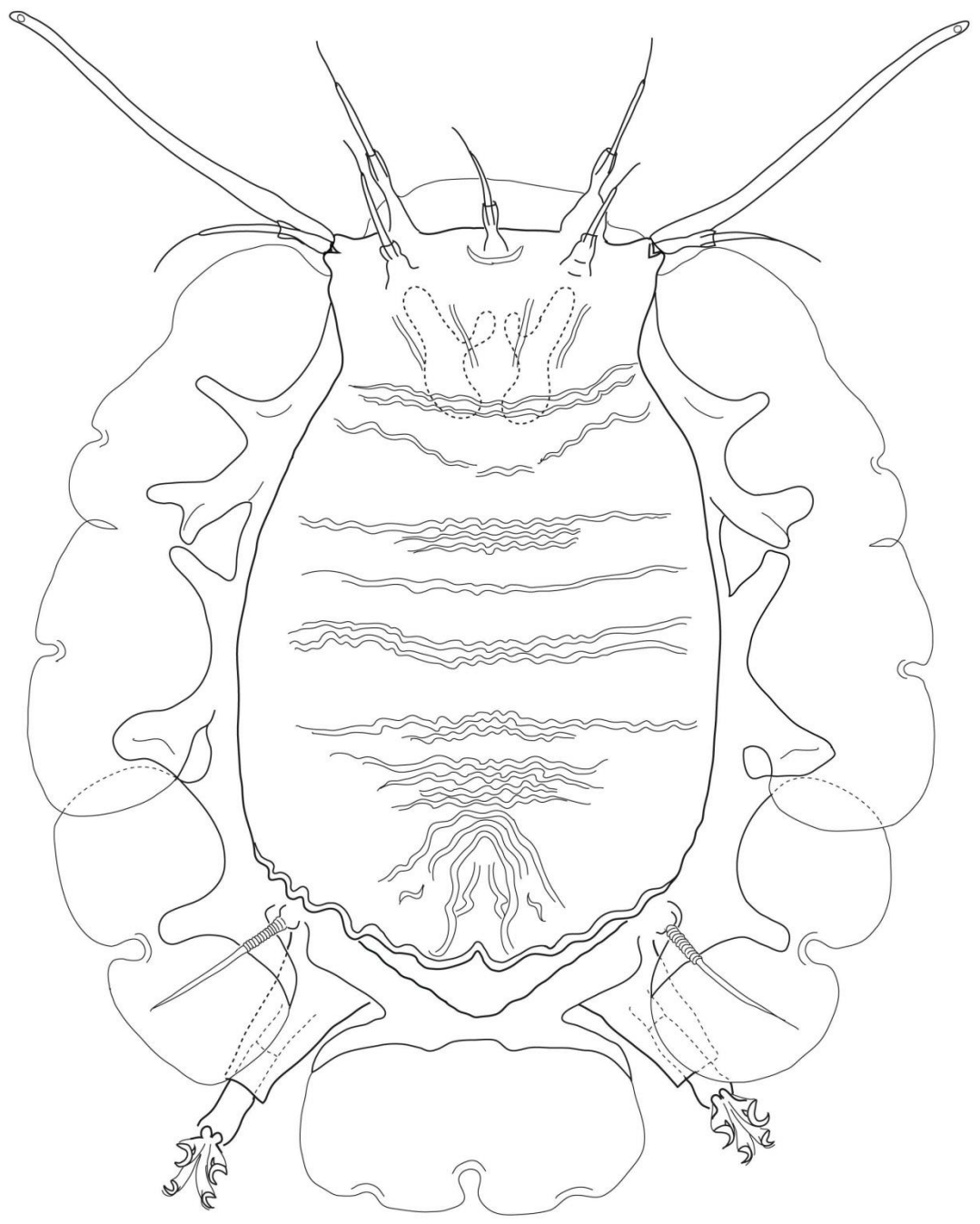


Figure 2

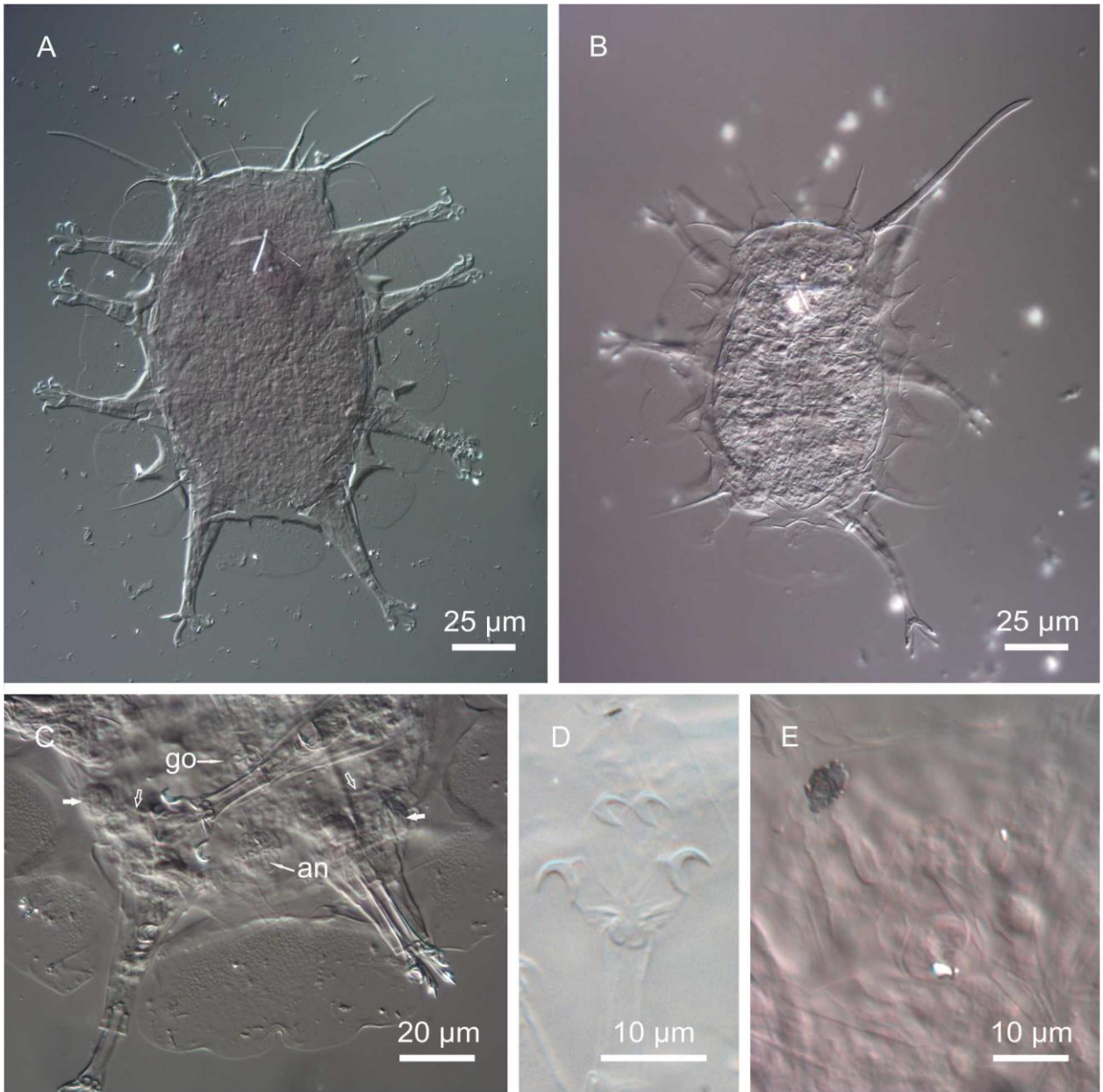


Figure 3

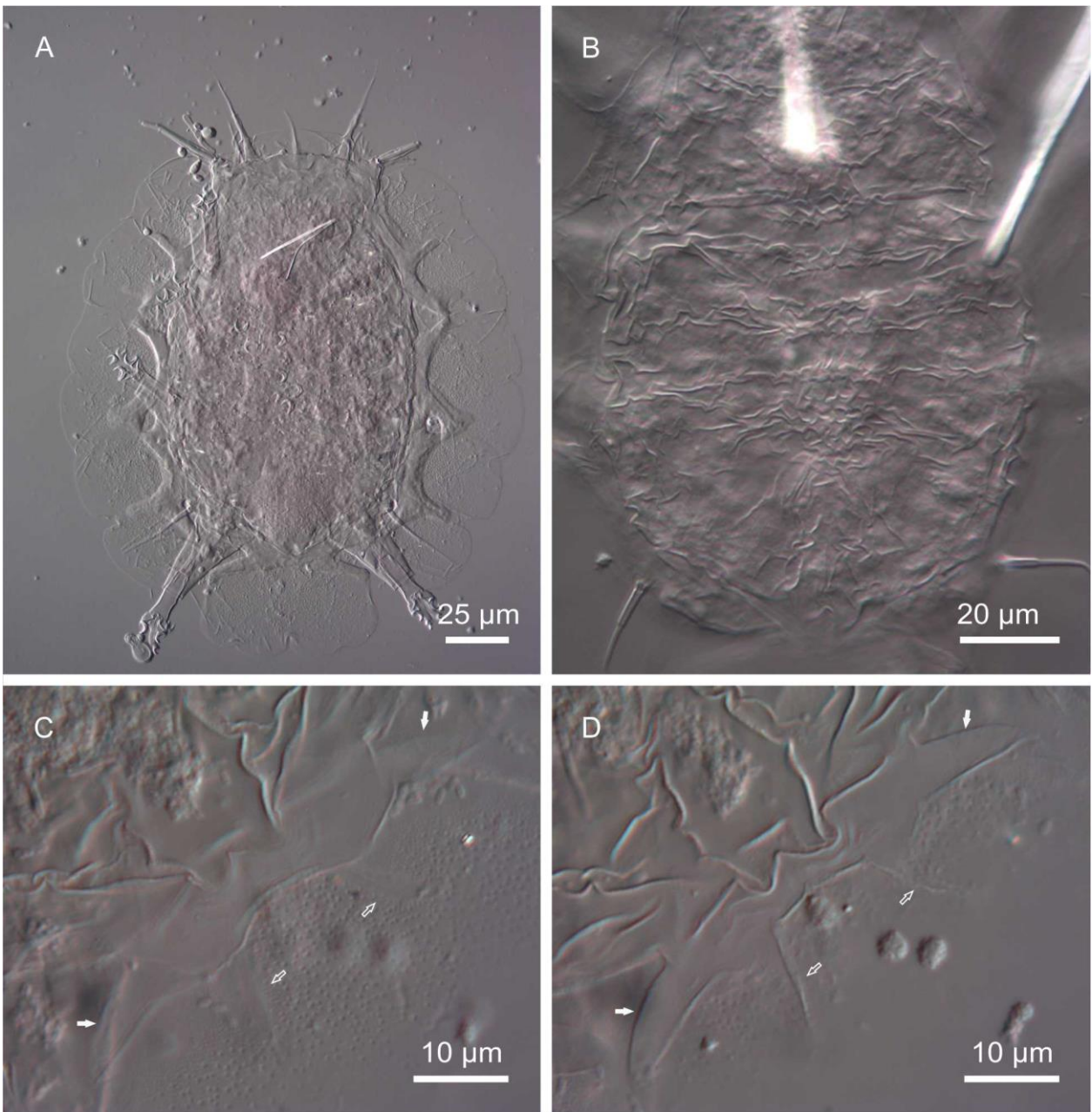


Table 1

Character	Holotype	Paratypes						
	Female	Females		Allotype	Males		Four-clawed Larvae	
		N	Range		N	Range	N	Range
Body length	134	11	102–165	113	5	102–140	4	89–99
Body width	83	11	70–102	65	5	52–76	4	48–61
Median cirrus	18	11	12–29	24	4	20–23	3	15–18
Internal cirrus	32	11	22–43	31	4	23–30	3	20–23
External cirrus	19	11	14–29	22	4	21–22	4	15–17
Lateral cirrus A	24	11	22–38	27	3	22–30	4	20–22
Primary clava	52	10	39–70	81	4	78–87	4	41–44
Cirrus E	35	11	30–38	31	4	29–33	4	26–31
Sense organ leg I	13	10	9–17	12	4	10–14	3	8–10
Sense organ leg II	13	7	10–16	-	4	9–17	1	9
Sense organ leg III	11	7	9–15	11	2	12–17	2	9
Sense organ leg IV	14	10	8–20	-	3	13–17	4	9–10

Capítulo III. Ecología y diversidad de tardígrados en Xcalak y Mahahual, Quintana Roo

Resumen

Se compararon las comunidades de tardígrados de dos localidades con diferente intensidad turística (Xcalak y Mahahual), en dos temporalidades (lluvias y nortes) del 2018. Un total de 361 tardígrados fueron colectados (272 individuos en Xcalak y 89 individuos en Mahahual), de los cuales se identificaron 19 taxones. Los resultados de las pruebas T de Hutcheson y los CCA, mostraron que la riqueza y diversidad estuvo en función de la zonación arrecifal y concentración de nutrientes, los transectos de la cresta arrecifal presentaron mayor riqueza y diversidad, así como mayores concentraciones de amonio y bajas concentraciones de ortofosfatos. A diferencia de otros estudios, la diversidad de tardígrados marinos no dependió del tamaño de grano. No fue posible determinar cómo son afectadas las variables por el incremento del turismo; sin embargo, la riqueza de especies fue mayor en Xcalak, que pertenece al Parque Nacional Arrecifes de Xcalak y que presenta menor afluencia de turismo en comparación con Mahahual. Este trabajo contribuye al conocimiento de la diversidad de tardígrados marinos, con el registro de seis géneros para el estado de Quintana Roo. Además, se registra la mayor riqueza para toda la ecorregión del Caribe Occidental.

Introducción

Los tardígrados son micrometazoarios hidrófilos, con el cuerpo compuesto de cinco pseudo-segmentos y cuatro pares de patas que usualmente terminan en garras, su talla varía de 50 μm a 1 mm (Ramazzotti y Mucci, 1983; Miller, 1997). A pesar de tener una amplia distribución (zonas tropicales, subtropicales, templadas, y círculos polares), es un grupo biológico poco estudiado. Actualmente se conocen 1295 especies en el filo, solo el 16% en hábitats marinos (Bartels *et al.*, 2016; Degma *et al.*, 2019).

En ambientes marinos, los tardígrados pueden asociarse con algas o invertebrados tales como percebes, holoturias y briozoos (Kaczmarek *et al.*, 2015). Sin embargo, la mayoría de las especies son intersticiales y se alimentan de bacterias, hongos,

macroalgas, y diatomeas, mientras que otras especies son detritívoras o carnívoras (consumen nemátodos, rotíferos y otros tardígrados) (Kristensen y Hallas, 1980; Giere, 2009; Nelson, 2010).

México ha estado durante mucho tiempo entre las ecorregiones en América sin registros de tardígrados marinos, a pesar de ser un país bordeado casi en su totalidad por costas (Spalding *et al.*, 2007; Miller y Perry, 2016). En el Océano Pacífico, los registros de tardígrados marinos más cercanos a México son en costas de California y El Salvador (Miller y Perry, 2016). Dentro del Golfo de México, solo existen estudios en las costas de Florida (Chitwood, 1954; King, 1962; Nichols *et al.*, 2006; Romano III, 2009; Romano III *et al.*, 2011). En el Caribe, los informes sobre tardígrados provienen de las Bahamas, Bermudas y las Antillas (Renaud-Debyser, 1959, 1963; Pollock, 1975; Bartels *et al.*, 2018).

Gran parte de los trabajos existentes han centrado sus esfuerzos en la descripción taxonómica, por lo tanto, el conocimiento acerca de las características ecológicas del grupo aún es limitado. Algunos estudios solo han relacionado su diversidad con las características de los sedimentos o la cantidad de materia orgánica del ambiente (Renaud-Monard, 1981; Bartels *et al.*, 2016, 2018; Fontoura *et al.*, 2017).

En México, el estudio de los tardígrados marinos es escaso, pues tan solo existe un registro de géneros para el estado de Quintana Roo (Pérez-Pech *et al.*, 2018). En este capítulo, se analizó la diversidad de tardígrados en dos áreas arrecifales con diferente intensidad turística y se relacionó con la concentración de algunos nutrientes, así como otras variables ambientales.

Materiales y Métodos

Las colectas se realizaron en dos localidades de Quintana Roo: Xcalak que pertenece a un área marina protegida (Parque Nacional Arrecifes de Xcalak) y Mahahual, uno de los principales destinos turísticos de Quintana Roo (ver figura 1).

En Mahahual la laguna arrecifal es más estrecha (230-450 m) que Xcalak (950- 1,200 m) (Cabanillas-Teran *et al.*, 2019). Sin embargo, el rango de las mareas es similar en ambas, no supera los 0.5 m y las olas apenas pueden superar un metro de altura (Álvarez-Cadena *et al.*, 2007; Schmitter-Soto *et al.*, 2018).

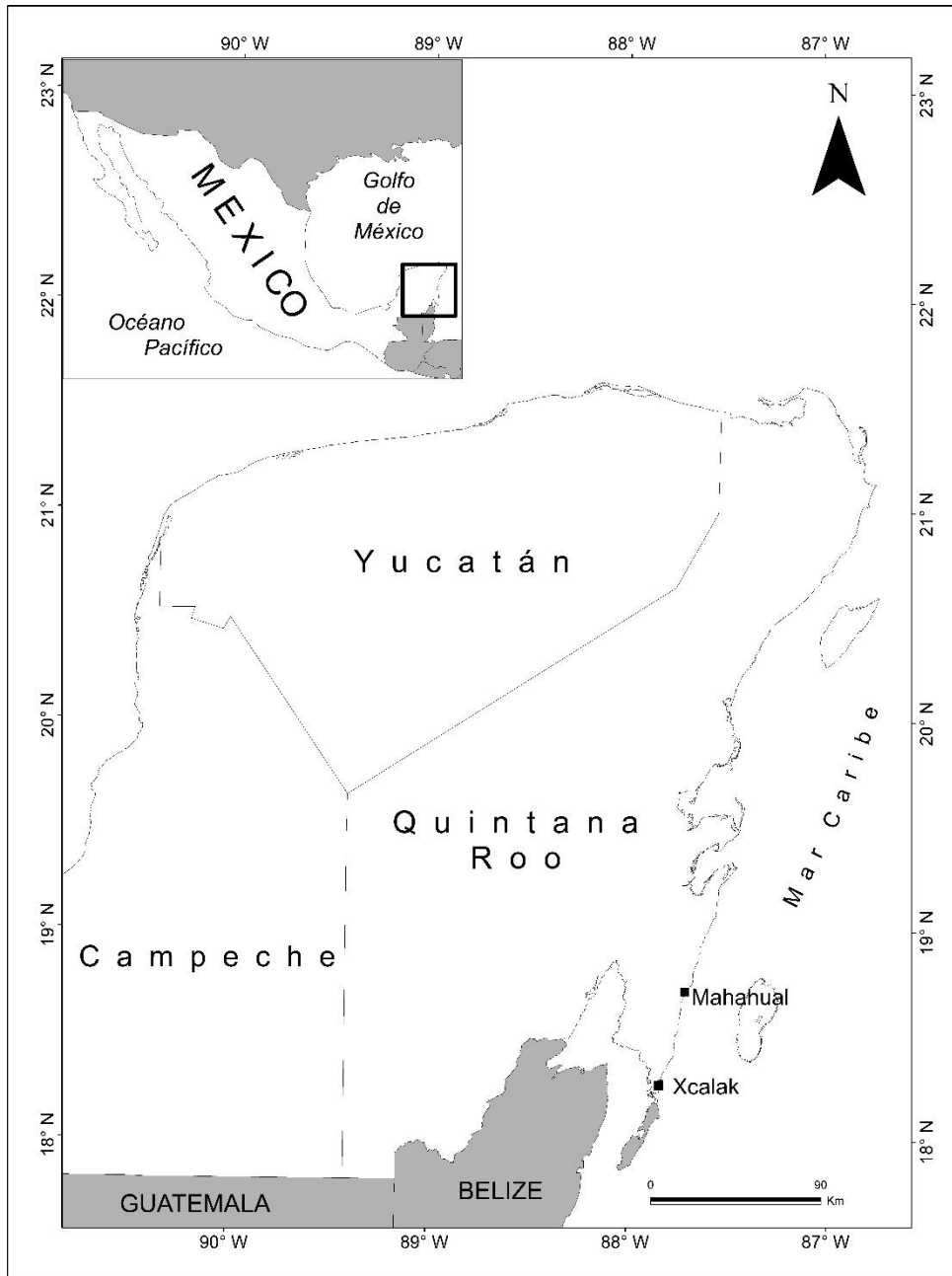


Figura 1. Ubicación de las localidades de muestreo.

Los muestreos se realizaron en dos temporadas: lluvias (5 y 6 de septiembre de 2018) y nortes (15 y 16 de noviembre de 2018). Para la colecta de muestras, en cada localidad se seleccionaron dos sitios de muestreo (ver tabla 1), ambos separados por 1 km. En cada sitio de muestreo se establecieron dos transectos paralelos a la costa: el primero en la laguna arrecifal a cinco metros de la costa, y el segundo en la cresta

del arrecife (ver tabla 1). Todos los transectos tuvieron 100 m de longitud y se establecieron tres estaciones de muestreo a lo largo del transecto (0, 50, 100 m). El sedimento fue recolectado con tubos de PVC de 10 cm de longitud y diámetro.

Tabla 1. Diseño de muestreo para las dos temporadas de estudio: Lluvias (L) y Nortes (N). Claves de los sitios: X1: sitio 1 de Xcalak, X2: sitio 2 de Xcalak, M1: sitio 1 de Mahahual, M2: sitio 2 Mahahual. Clave de transectos: T1: Transecto 1, T2: Transecto 2, X: Xcalak, M: Mahahual, A: Cresta arrecifal, C: laguna arrecifal.

Localidades	Sitio por localidad	Zona arrecifal	Transectos en cada sitio	Coordenadas de los transectos	Estaciones (distancia dentro del transecto)
Xcalak	X1	Cresta	T1XA	18°17'21.3 N 087°49'29.8 W	0m, 50m, 100m
		Laguna	T1XC	18°17'14.7 N 087°49'56.9 W	0m, 50m, 100m
	X2	Cresta	T2XA	18°16'20.2 N 087°49'38.5 W	0m, 50m, 100m
		Laguna	T2XC	18°16'19.3 N 087°50'04.5 W	0m, 50m, 100m
Mahahual	M1	Cresta	T1MA	18°43'14.8 N 087°42'06.6 W	0m, 50m, 100m
		Laguna	T1MC	18°43'22.6 N 087°42'05.6 W	0m, 50m, 100m
	M2	Cresta	T2MA	18°42'32.8 N 087°42'29.8 W	0m, 50m, 100m
		Laguna	T2MC	18°42'30.8 N 087°42'44.3 W	0m, 50m, 100m

En cada estación fueron colectadas siete muestras de sedimentos: tres para el análisis de nutrientes, dos para la colecta de organismos, y dos más para la materia orgánica y granulometría. Para la colecta de organismos, un total de 96 muestras fueron obtenidas, 48 en cada temporada y 24 en cada localidad. Los tardígrados fueron liberados del sedimento por medio de un choque osmótico con agua dulce (Kristensen, 1983) y retenidos en un tamiz de 45 µm. Finalmente, la muestra fue fijada con formol al 5% y teñida con Rosa de Bengala para facilitar la separación de los organismos con un microscopio estereoscópico.

Los individuos colectados fueron preservados en preparaciones permanentes en laminillas con glicerina y se realizaron observaciones al microscopio óptico para su identificación taxonómica con ayuda de claves especializadas, revisión de material tipo, consultas con el especialista en taxonomía de tardígrados marinos, y fotografías al microscopio electrónico de barrido y microscopio óptico con contraste interferencial (DIC, por sus siglas en inglés).

Los factores físico-químicos fueron medidos del agua intersticial de los sedimentos. Las concentraciones de oxígeno disuelto y temperatura se obtuvieron por medio de un oxímetro modelo YSY 550, mientras que la salinidad fue medida por medio de un refractómetro.

El porcentaje de materia orgánica fue obtenida mediante la técnica de ignición (Dean, 1974). La granulometría se obtuvo con la técnica de tamizaje (Blott y Pye, 2001) y para determinar el tamaño de grano, los datos fueron ingresados al programa GRADISTAT 8.0.

Para el análisis de nutrientes las muestras de sedimento fueron depositadas en frascos previamente lavados con detergente libre de fosforo, HCL al 15 % y enjuagados con agua destilada. Posteriormente fueron resguardados en una hielera hasta su traslado a las instalaciones del Colegio de la Frontera Sur, unidad Chetumal. El agua intersticial fue separada del sedimento por centrifugado a 3000 rpm durante 12 minutos, posteriormente fue filtrada en filtros de microfibras Whatman con 0.7 μm de tamaño de poro y 47 mm de diámetro. Las concentraciones de nitratos, ortofosfatos, y amonio fueron analizadas con base a las técnicas de Strickland y Parsons (1968), Durán (2008), y Hansen y Koroleff (1983).

Se determinaron los valores de diversidad de Shannon-Wiener, índice de Pielou, riqueza de especies y diversidad máxima (Hmax) para cada sitio de muestreo (Moreno, 2001).

Se realizaron pruebas de T para determinar si existen diferencias entre los factores físico-químicos de las localidades y los transectos estudiados. Además, por medio de la prueba *t* modificada por Hutcheson (1970), se determinaron las diferencias entre las diversidades de las localidades y entre transectos de muestreo (Moreno, 2001).

La relación entre los factores físico-químicos y la diversidad de tardígrados se determinó utilizando el análisis de correspondencia canónica (CCA), en Rstudio. Se eliminaron las variables que presentaron colinealidad y se utilizaron las que presentaron mayor significancia de acuerdo al criterio de información de Akaike. La matriz de variables ambientales fue estandarizada (media=0, varianza=1), antes de realizar los análisis.

Resultados

Un total de 361 tardígrados fueron colectados, 272 individuos para Xcalak y 89 individuos para Mahahual en las dos temporadas estudiadas. En Xcalak la mayor abundancia se presentó en la temporada de lluvias con 255 individuos y la menor en nortes con 17 individuos. Por otra parte, Mahahual obtuvo la mayor abundancia en nortes, al presentar 46 individuos y la menor abundancia en lluvias con 43 individuos.

Un total de 19 taxones fueron identificados, las cuales pertenecen a 7 familias y 10 géneros. Entre las localidades, 10 taxones fueron compartidos (*Archechiniscus bahamensis*, *Batillipes cf. lusitanus*, *Batillipes dandarae*, *Dipodarctus sp. 1*, *Dipodarctus sp. 2*, *Dipodarctus sp. 3*, *Florarctus yucatanensis sp. nov.*, *Floractus sp. 2*, *Wingstrandarctus corallinus*, y *Styraconyx sp.*). Siete fueron exclusivos para Xcalak (*Anisonyches sp.*, *Dipodarctus cf. subterraneus*, *Florarctus antillensis*, *Florarctus sp. 1*, *Raiarctus sp.*, *Wingstrandarctus sp.*, y *Tanarctus helleouetae*), y 2 para Mahahual (*Styraconyx tubernarum*, *Megastygarctides sp.*). *Styraconyx sp* fue el más abundante fue con 113 individuos, seguida por *W. corallinus* y *Florarctus sp. 2* con 34 individuos. Mientras que *Anisonyches sp.* y *Styraconyx tubernarum* estuvieron representadas por un solo individuo.

En la temporada de lluvias, la riqueza y diversidad mostraron los valores más altos en la cresta arrecifal de Xcalak (LT1XA: 17 taxones, $H' = 2.45$; LT2XA: 10 taxones, $H' = 1.88$) y en la temporada de nortes en la cresta arrecifal de Mahahual (NT1MA: 7 taxones, $H' = 1.846$ y NT2MA: 6 especies, $H' = 1.382$). De acuerdo al índice de Pielou, el 77 % de los transectos presentaron diversidades cercanas al valor de H'_{max} (< 0.7) (tabla 2).

Las pruebas de t de Hutcheson (1970) calculadas (ver tabla 3), mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) al comparar la diversidad entre la cresta arrecifal y la laguna arrecifal de un mismo sitio (X1, X2, M1, M2), en cada localidad. Así mismo, al comparar las diversidades entre transectos de diferentes localidades (transectos de Mahahual vs transectos de Xcalak), el 75% de las pruebas mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$). Además, al considerar transectos de distintas temporadas (Lluvias vs Nortes), el 67 % mostró diferencias significativas en los valores de diversidad ($p < 0.05$).

Tabla 2. Abundancia, riqueza e índices ecológicos por transectos. N: Nortes, L: lluvias.

Transectos	Abundancia	Riqueza	Shannon	H'max	Pielou
NT1MC	2	2	0.693	0.693	1
NT1MA	11	7	1.846	1.946	0.949
NT2MA	33	6	1.382	1.792	0.772
NT1XC	1	1	0.000	0.000	0.000
NT1XA	8	3	0.900	1.099	0.819
NT2XA	8	4	1.000	1.386	0.875
LT1MC	7	2	0.683	0.693	0.985
LT1MA	8	3	1.040	1.099	0.946
LT2MC	19	2	0.436	0.693	0.629
LT2MA	9	5	1.523	1.609	0.946
LT1XC	52	2	0.221	0.693	0.318
LT1XA	164	17	2.454	2.833	0.866

Tabla 3. Resultados de las pruebas t Hutcheson en los transectos estudiados. En negritas las pruebas que presentaron $p > 0.05$.

Pruebas entre localidades		Pruebas entre Temporadas	
Transectos	p valor	Transectos	p valor
NT2XA-NT1MA	0.02	NT1MC- LT1MC	0.85
NT2XA-NT1MC	0.03	NT1MA-LT1MA	0.04
NT2XA-NT2MA	0.50	NT2MA-LT2MA	0.48
NT1XA-NT1MA	0	NT1XC-LT1XC	0.01
NT1XA-NT1MC	0.35	NT1XA-LT1XA	0
NT1XA-NT2MA	0.07	NT2XA-LT2XA	0.01
NT1XC-NT1MA	0	<hr/>	
NT1XC-NT1MC	0	Pruebas entre zonas arrecifales	
NT1XC-NT2MA	0	Transectos	P valor
LT1XA-LT1MA	0	LT1MA-LT1MC	0.02
LT1XA-LT1MC	0	LT2MA-LT1MC	0
LT1XA-LT2MA	0	LT2MC-LT1MA	0
LT1XA-LT2MC	0	LT2MC-LT2MA	0
LT2XA-LT1MA	0	LT1XA-LT1XC	0
LT2XA-LT1MC	0	LT2XA-LT1XC	0
LT2XA-LT2MA	0.076	LT2XA-LT2MC	0
LT1XC-LT1MA	0	NT1MA-NT1MC	0
LT1XC-LT1MC	0	NT1XA-NT1XC	0
LT1XC-LT2MA	0	NT2MA-NT1MC	0
LT1XC-LT2MC	0.20	NT2XA-NT1XC	0.02

Los resultados de los análisis granulométricos se presentan en la tabla 4. De manera general, las características de los sedimentos corresponden con arena fina, arena media, arenas gruesas y arenas muy gruesas. No se observó un patrón definido de acuerdo a la zona arrecifal o localidad.

Los resultados de los parámetros físico-químicos fueron los siguientes (ver tabla 5):

- La temperatura en temporada de lluvias tuvo un máximo de 34°C en la laguna arrecifal de Xcalak (LT1XC) y mínimo de 30°C en la laguna arrecifal de Mahahual (LT2MC) con una media de $32.45 \pm 1.32^\circ\text{C}$. Mientras que en nortes tuvo un máximo de 27°C en la laguna arrecifal de Mahahual (LT1MC) y mínimo de 25.3°C en la cresta arrecifal de Mahahual (LT2MA) (media = $26.3 \pm 0.56^\circ\text{C}$).
- La salinidad durante la época de lluvias obtuvo un máximo de 36 UPS en la laguna arrecifal de Xcalak (LT1XC) y mínimo de 16 UPS en la laguna arrecifal de Mahahual (LT1MC), con una media de 28.02 ± 7.23 UPS. En nortes, alcanzó un máximo de 38 UPS en la laguna arrecifal de Xcalak (NT1XC) y mínimo de 35 UPS en la cresta arrecifal de Xcalak (NT1XA) (media = 36.16 ± 1.32 UPS).
- El oxígeno en temporada de lluvias mostró un máximo de 7mg/L en la cresta arrecifal de Xcalak (LT1XA) y mínimo de 0.62 mg/L en la laguna arrecifal de Mahahual (NT2MC) (media = 4.08 y $\pm = 2.07$). Durante los nortes presentó un máximo de 9.3 mg/L en la cresta arrecifal de Xcalak (NT1XA) y mínimo de 4.7 mg/L en la laguna arrecifal de Mahahual (NT2MC), con una media de $7.13 \text{ mg/L} \pm 1.91$.
- El porcentaje de materia orgánica obtuvo los mismos valores en las dos temporadas: un máximo de 16 % en la laguna arrecifal de Mahahual (NT2MC y LT2MC) y mínimo de 5.31% en la laguna arrecifal en Mahahual (NT1MC y LT1MC, en lluvias: media = 8.44 ± 3.68 %, en nortes media = 6.63 ± 0.94 %).

Tabla 4. Resultados del análisis de granulometría.

Transecto	Tipo de sedimento	\bar{X}	σ	K
LT1MA	Arena fina	1170.9	3531.0	20.9
LT1MC	Arena muy gruesa	7256.8	10183.4	2.6
LT1XA	Arena muy gruesa	3801.5	7857.5	6.5
LT1XC	Arena fina	1250.1	4359.8	25.0
LT2MA	Arena media	2634.5	5709.6	9.7
LT2MC	Arena media	603.9	2483.4	90.1
LT2XA	Arena fina	2443.9	6586.1	10.9
NT1MA	Arena Gruesa	3983.6	8302.5	5.7
NT1MC	Arena Gruesa	3481.6	6897.1	7.1
NT1XA	Arena Fina	823.1	3137.5	38.3
NT1XC	Arena media	2272.5	6018.4	11.6
NT2MA	Arena Gruesa	4427.6	7799.7	5.1
NT2XA	Arena muy gruesa	3745.2	6685.4	6.6

Así mismo, las concentraciones de nutrientes mostraron las siguientes tendencias entre temporadas (ver tabla 5):

- El amonio mostró su valor máximo y mínimo en Mahahual (M1) en lluvias: en la cresta arrecifal con 2.155 mg/L y 0.468 mg/L en la laguna arrecifal, respectivamente (media = 1.19 ± 0.53 mg/L). Mientras que en nortes el valor máximo y mínimo se obtuvieron en Xcalak (X1), con 0.906 mg/L en la laguna arrecifal y mínimo de 0.184 mg/L en la cresta arrecifal (media = 0.51 ± 0.25 mg/L).
- Los nitratos en lluvias presentaron su valor máximo en la cresta arrecifal de Xcalak (LT2XA) 0.104 mg/L y el mínimo en la cresta arrecifal de Mahahual (LT1MA) 0.017 mg/L con una media de 0.06 ± 0.03 mg/L. En nortes el máximo fue de 0.256 mg/L en la cresta arrecifal de Mahahual (NT2MA) y el mínimo 0.015 mg/L en la cresta arrecifal de Xcalak (NT2XA) (media = 0.07 ± 0.09 mg/L).
- Las concentraciones de ortofosfatos, en lluvias mostraron un máximo de 0.295 mg/L en la laguna arrecifal de Xcalak (LT1XC) y mínimo de 0.056 en la cresta arrecifal de Mahahual (LT2MA) (media = 0.01 ± 0.10 mg/L). Mientras que en nortes tuvieron un máximo de 0.060 mg/L en la cresta arrecifal de Mahahual (NT2MA) y mínimo de 0.007 mg/L en la cresta arrecifal de Xcalak (NT2XA), con media de 0.040 ± 0.024 mg/L.

Tabla 5. Resultados de las variables ambientales.

SITIO	Amonio (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	%MO	Temperatura °C	Salinidad UPS	Oxígeno(mg/L)
LT1MA	2.1556	0.0176	0.0745	7.55	32.6	27	4
NT1MA	0.4475	0.0373	0.0591	7.71	27	37	7.2
LT1MC	0.4687	0.0960	0.2952	5.31	34	16	2.55
NT1MC	0.6568	0.0601	0.0613	5.31	26.5	35	5.2
LT1XA	1.3834	0.0599	0.0972	7.04	32.2	30	7
NT1XA	0.1840	0.0325	0.0074	6.93	26.5	35	9.1
LT1XC	0.7310	0.0823	0.2957	9.36	31.9	36	5.5
NT1XC	0.9067	0.0314	0.0416	5.90	26.1	38	9.3
LT2MA	1.3308	0.0337	0.0564	5.32	33.7	21	3.95
NT2MA	0.5509	0.2560	0.0606	7.57	25.3	37	7.3
LT2MC	1.2275	0.0331	0.1870	16.08	30	33.2	0.62
NT2MC	0.4397	0.0353	0.0329	16.08	27	37	23
LT2XA	1.0975	0.1045	0.0840	8.44	32.8	33	5
NT2XA	0.3268	0.0154	0.0148	6.38	26.4	35	4.7
LT2XC	1.2917	0.0289	0.5339	4.89	31.5	35	1.5
NT2XC	0.5071	0.0951	0.0950	11.50	24	42.2	2.5

Las pruebas t realizadas a las variables ambientales (ver tabla 6), mostraron diferencias significativas entre transectos de diferentes localidades (transectos de Mahahual vs transectos de Xcalak), en la salinidad ($p < 0.05$) y el tamaño de grano ($p < 0.05$). Mientras que a nivel temporal (Lluvias vs Nortes), las diferencias estuvieron presentes en la temperatura ($p < 0.01$), el oxígeno ($p < 0.05$), concentraciones de amonio ($p < 0.01$) y ortofosfatos ($p < 0.01$). Así mismo, las concentraciones de ortofosfatos entre la cresta arrecifal y la laguna arrecifal de los transectos de Mahahual durante la temporada de lluvias, fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 6. Resultados de las pruebas t aplicadas a las variables ambientales. En Negritas los valores significativos ($p < 0.05$). M: Mahahual, X: Xcalak, A: Cresta arrecifal, C: Laguna arrecifal.

Pruebas	Amonio (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Ortofosfatos (mg/L)	%MO	Temperatura	Salinidad	Oxígeno	Tamaño de grano
Nortes vs Lluvias	0.00	0.33	0.01	0.41	0.00	-	0.03	-
M vs X en Lluvias	0.33	0.18	0.22	0.35	0.32	0.03	0.11	0.32
M vs X en Nortes	0.40	0.19	0.27	0.30	0.18	0.29	0.19	0.02
MA vs MC en Lluvias	0.13	0.18	0.04	0.26	0.32	0.48	0.07	0.31
MA vs MC en Nortes	0.36	0.23	0.23	0.31	0.28	0.21	0.26	0.38
XA vs XC en Lluvias	0.27	0.26	0.06	0.41	0.08	0.06	0.19	0.05
XA vs XC Nortes	0.08	0.18	0.08	0.27	0.16	0.07	0.41	0.44

Los análisis de correspondencia canónica, de cada temporada de estudio, tuvieron más del 70% de la correspondencia total en los dos primeros componentes (ver tabla 7). En la temporada de lluvias se observaron tres grupos (ver figura 2): en el primero, todos los transectos de la cresta arrecifal se relacionaron con el amonio, la temperatura y la mayoría de las especies. El segundo grupo estuvo conformado por los transectos de la laguna arrecifal, y se relacionaron con las concentraciones de ortofosfatos, porcentaje de materia orgánica, así como especies compartidas. Un tercer sitio costero quedó aislado de los demás al no presentar ninguna relación con las variables ambientales. En la temporada de nortes, el descenso de la temperatura y de las concentraciones de nutrientes, afectaron la ordenación de las especies (ver figura 3). Se observaron tres grupos al igual que en la temporada de lluvias. Los transectos de la cresta arrecifal de Mahahual resultaron estar más relacionados con la materia orgánica, nitratos, ortofosfatos y amonio. Además, en ellos se concentraron la mayoría de las especies (grupo 1, ver figura 3). Por otro lado, los transectos de la cresta y de la laguna arrecifal de Xcalak se relacionaron entre sí con las especies compartidas y la temperatura. Finalmente, el sitio de la laguna arrecifal de Mahahual (NT1MC) estuvo aislado de todos, al igual que en la temporada de lluvias.

Tabla 7. Resultados de los componentes en los dos análisis de correspondencia canónica realizados.

Análisis	Importancia de los componentes	CCA 1	CCA 2	CCA 3	CCA 4	CCA 5	CCA 6
CCA	Proporción explicada	0.4033	0.3042	0.1591	0.1174	0.0156	0.00033
Lluvias	Proporción acumulada	0.4033	0.7075	0.8666	0.9840	0.9996	1.00000
CCA	Proporción explicada	0.4469	0.3543	0.1230	0.0684	0.0072	-
Nortes	Proporción acumulada	0.4469	0.8012	0.9243	0.9927	1.0000	-

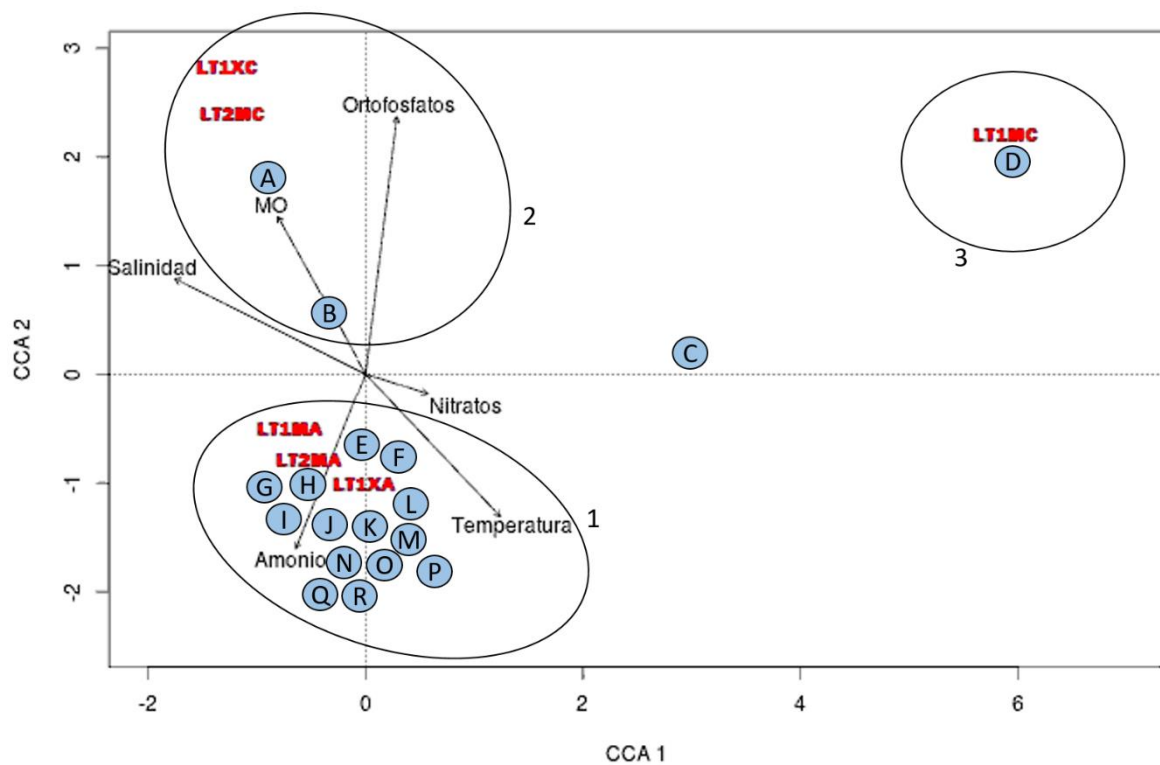


Figura 2. Análisis de Correspondencia Canónica de la temporada de lluvias. Los números indican los tres grupos observados, los cuales se encuentran encerrados en óvalos. Las especies se presentan en círculos azules: A) *Styraconyx* sp, B) *Archechiniscus bahamensis*, C) *Dipodarctus* sp. 2, D) *Wingstrandarctus corallinus*, E) *Wingstrandarctus* sp. F) *Raiarctus* sp G) *Anisonyches* sp. H) *Batillipes* cf. *Iusitanus*, I) *Dipodarctus* sp. 1, J) *Dipodarctus* sp. 3, K) *Megastygarctides* sp., L) *Florarctus* sp. 2, M) *Tanarctus helleouetae*, N) *Dipodarctus* cf. *subterraneus*, O) *Florarctus* sp. 1, P) *Florarctus yucatanensis* sp. nov., Q) *Florarctus antillensis*, R) *Batillipes dandarae*.

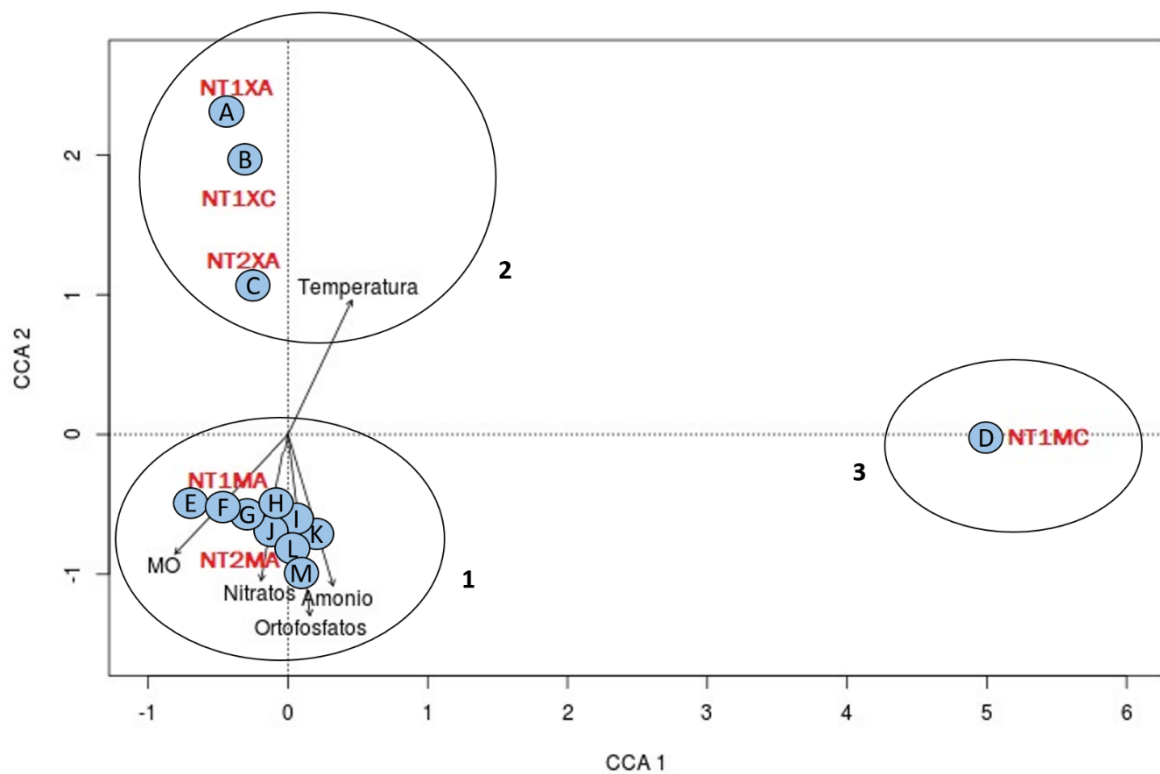


Figura 3. Análisis de Correspondencia Canónica de la temporada de Nortes. Los números indican los tres grupos observados, los cuales se encuentran encerrados en óvalos. Las especies se presentan en círculos azules: A) *Dipodarctus* cf. *subterraneus*, B) *Florarctus* sp. 1, C) *Styraconyx* sp., D) *Batillipes* cf. *lusitanus*, E) *Batillipes dandarae*, F) *Styraconyx tubernarum*, G) *Dipodarctus* sp. 1, H) *Florarctus* sp. 2, I) *Dipodarctus* sp. 2, J) *Dipodarctus* sp. 3, K) *Wingstrandarctus corallinus*, L) *Florarctinae*, M) *Florarctus yucatanensis* sp. nov.

Comentarios taxonómicos

Clase Heterotardigrada

Orden Echiniscoidea

Familia Echiniscoididae

Subfamilia Echiniscoidinae

1. *Anisonyches* sp: un único espécimen fue colectado, el arreglo de garras por pata corresponde al género *Anisonyches*: 4 garras en las patas I-III y 3 garras en la pata IV. No fue posible determinar la especie al no contar con los ejemplares suficientes.

Orden Arthrotardigrada

Familia Archechiniscidae

2. *Archechiniscus bahamensis*: Los especímenes recolectados presentan la anatomía del gonoporo, longitud de cirro A ($>10\ \mu\text{m}$) y el cirro E ($> 20\ \mu\text{m}$) iguales a la especie *A. bahamensis* descrita por Bartels *et al.* (2018). Además, se encontró información adicional de la cutícula dorsal que solo fue visible con el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM) (Fig. 4)

Familia Batillipidae

3. *Batillipes cf. lusitanus*: Los especímenes recolectados presentan similitud en la mayoría de los caracteres diagnósticos atribuidos a la especie *B. lusitanus* descrita por Santos *et al.* (2018). Como son, dedos 3 y 4 de la pata IV de igual longitud y una proyección semicircular ligeramente afilada entre las patas III-IV. Sin embargo, en el extremo distal de la pata IV no se observó la presencia de un proceso rígido, el cual es un carácter diagnóstico en la *B. lusitanus*. Además, para asegurar la pertenencia a esta especie es necesario confrontar los valores morfométricos de los organismos colectados con los documentados para esta especie. Debido a que solo se obtuvieron 3 especímenes no fue posible realizar las mediciones pertinentes.

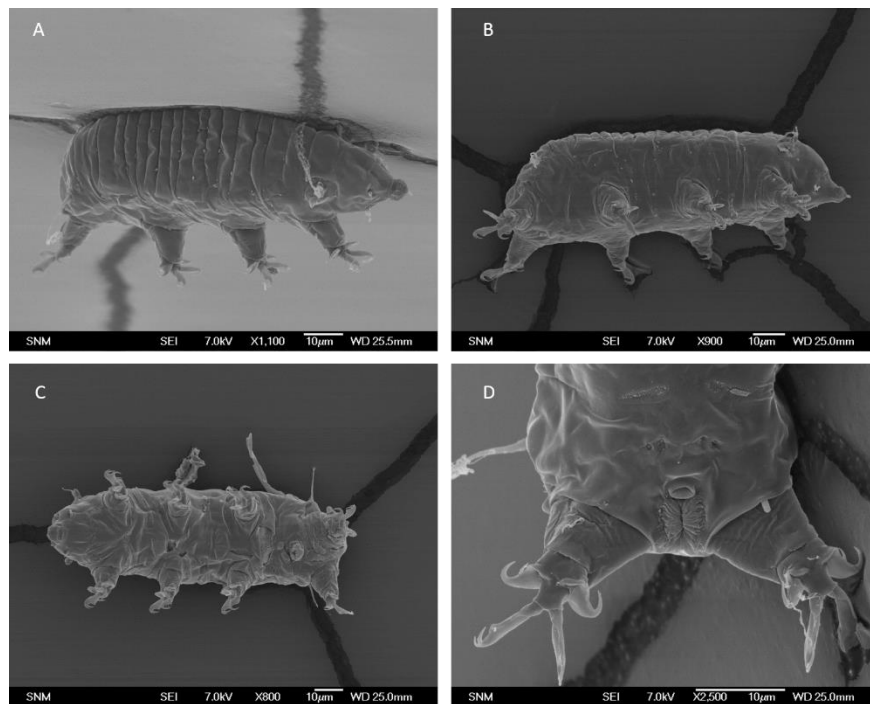


Figura 4. *Archechiniscus bahamensis*. A) cutícula dorsal. B) Vista lateral. C) vista ventral. D) ano y Gonoporo del ejemplar macho.

4. *Batillipes dandarae*: Especímenes con los dedos 3 y 4 de la pata IV con longitud diferente, procesos laterales entre las patas ausentes y región caudal con un apéndice caudal triangular afilado, caracteres que corresponde a *B. dandarae* especie descrita por Santos *et al.*, 2017.

Familia Halechiniscidae

Subfamilia Dipodarctinae

5. *Dipodarctus* sp. 1: El arreglo de dígitos en los especímenes colectados corresponde al género *Dipodarctus*; sin embargo, la anatomía del cirro E y de la clava primaria, presentan un grosor atípico respecto a las especies descritas dentro del género, por lo cual estos organismos corresponden a una nueva especie.
6. *Dipodarctus* sp. 2: Los organismos colectados presentan una anatomía de la clava primaria y el órgano sensitivo de la pata IV similar a *D. anaholiensis*. Sin embargo, en los especímenes colectados se pueden

observar pedúnculos en los dígitos externos, carácter que no está presente en *D. anaholiensis*.

7. *Dipodarctus* cf *subterraneus*: Los especímenes colectados presentaron los dígitos de las patas I-III con la misma longitud, dígito 3 ligeramente más largo que los demás. Este carácter generalmente se encuentra entre los límites de la descripción de las especies *D. subterraneus* y *D. anaholiensis* la identificación de los especímenes es difícil, ya que las diagnósis de estas especies son pobres y limitadas. Como *D. subterraneus*, es una especie registrada en el mar caribe para las Bahamas se considera pertinente referirse a los especímenes colectados como *Dipodarctus* cf *subterraneus*. Una revisión exhaustiva es necesaria para asegurar la identificación taxonómica de los especímenes colectados.
8. *Dipodarctus* sp. 3: Los organismos colectados presentaron una configuración de los dígitos que corresponden a *Dipodarctus*, aunque también es cercano a *Halechiniscus perfectus*, una revisión exhaustiva es necesaria para validar al taxón.

Subfamilia Florarctinae

9. *Florarctus yucatanensis* sp. nov.: Los organismos recolectados presentan una morfología particular, diferente a las especies conocidas. Presentan una cutícula esculpida, seis alas con caestus continuo, proyección del caestus en el ala posterolateral al nivel de la incisión del ala y caestus caudal con forma con cuatro proyecciones.
10. *Florarctus antillensis*: Los organismos colectados presentaron una morfología correspondiente a *F. antillensis*. Los caracteres más evidentes son la alas transparentes y finamente punteadas, y el ala caudal con cuatro lóbulos.

11. *Florarctus* sp. 1: Los organismos colectados en apariencia son similares a *H. hullingsi*, debido a la ausencia de caestus y forma del ala caudal. Sin embargo, siguiendo la clave para las especies de *Florarctus* propuesta por Grimaldi de zio *et al.*, (1999), los organismos no corresponden a ninguna especie actualmente descritas, un trabajo exhaustivo es necesario para su descripción como una nueva especie.
12. *Floractus* sp. 2: Siguiendo la clave de Grimaldi de zio *et al.*, (1999), los organismos no corresponden a ninguna especie descrita en género. Es necesario un trabajo exhaustivo para la descripción de la nueva especie.
13. *Wingstrandarctus corallinus*: Los especímenes presentaron características de la especie descrita por Kristensen (1984), como son la presencia de vesículas cefálicas con bacterias simbiotes y cutícula esculpida (Fig. 5).
14. *Wingstrandarctus* sp.: Los organismos colectados no corresponden a ninguna de las especies descritas actualmente en el género, por lo tanto, es necesario un esfuerzo exhaustivo para la descripción de esta nueva especie (Fig. 5).

Familia Styraconyxidae

15. *Styraconyx* sp.: Los especímenes colectados presentaron características similares a *Styraconyx kristenseni*, pero el arreglo de la cutícula en forma de rejilla es similar a *Styraconyx craticulus* y *Styraconyx craticuliformis* (Fig.6).
16. *Styraconyx tubernarum*: Los organismos colectados presentaron una cutícula lisa y clava primaria reportada para *S. tubernarum*.

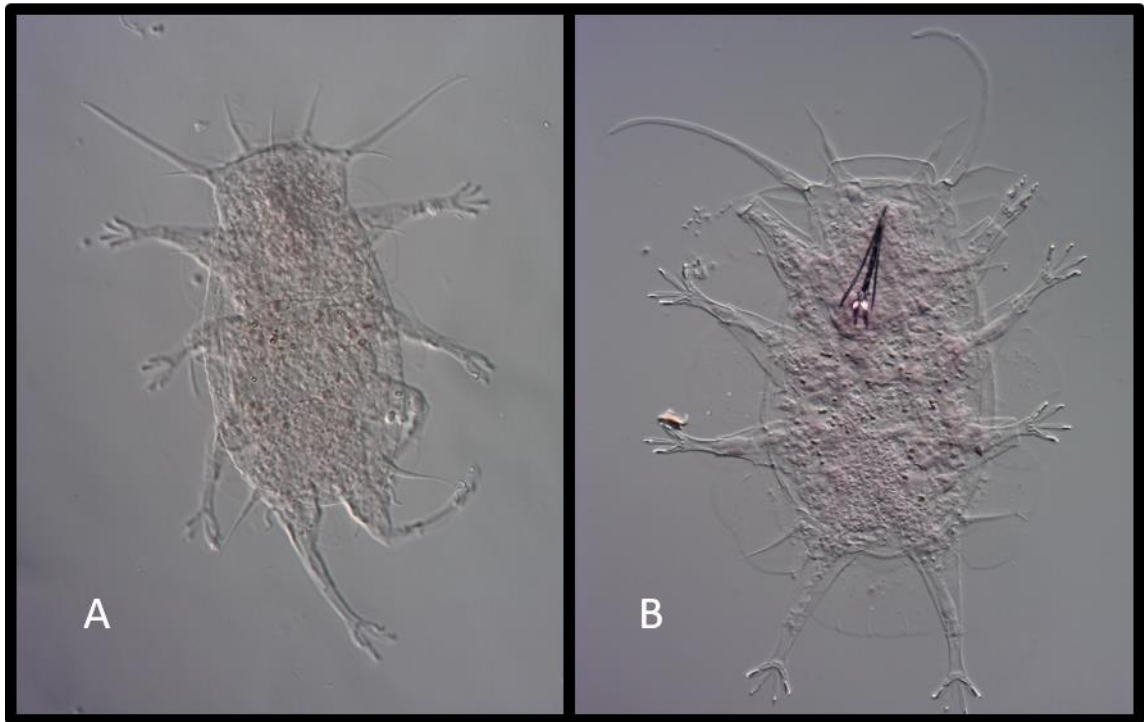


Figura 5. Especies del género *Wingstrandarctus*. A) *Wingstrandarctus corallinus*. B) *Wingstrandarctus* sp. nov.

17. *Raiarctus* sp.: Los especímenes colectados con alas dobles en la región frontal, lateral y caudal. Con las alas similares a *R. colorus* (Fig.6). Sin embargo, las alas fueron dobles en las regiones frontal, lateral y caudal, lo cual lo diferencia claramente de todas las especies del género.

Familia Stygarctidae

18. *Megastygarctides* sp.: La morfología de los organismos colectados no corresponde a ninguna especie actualmente descritas, clava primaria ovoide, con la cutícula cubierta de fibrillas, las dos más grandes cercanas al Gonoporo (figura 7).

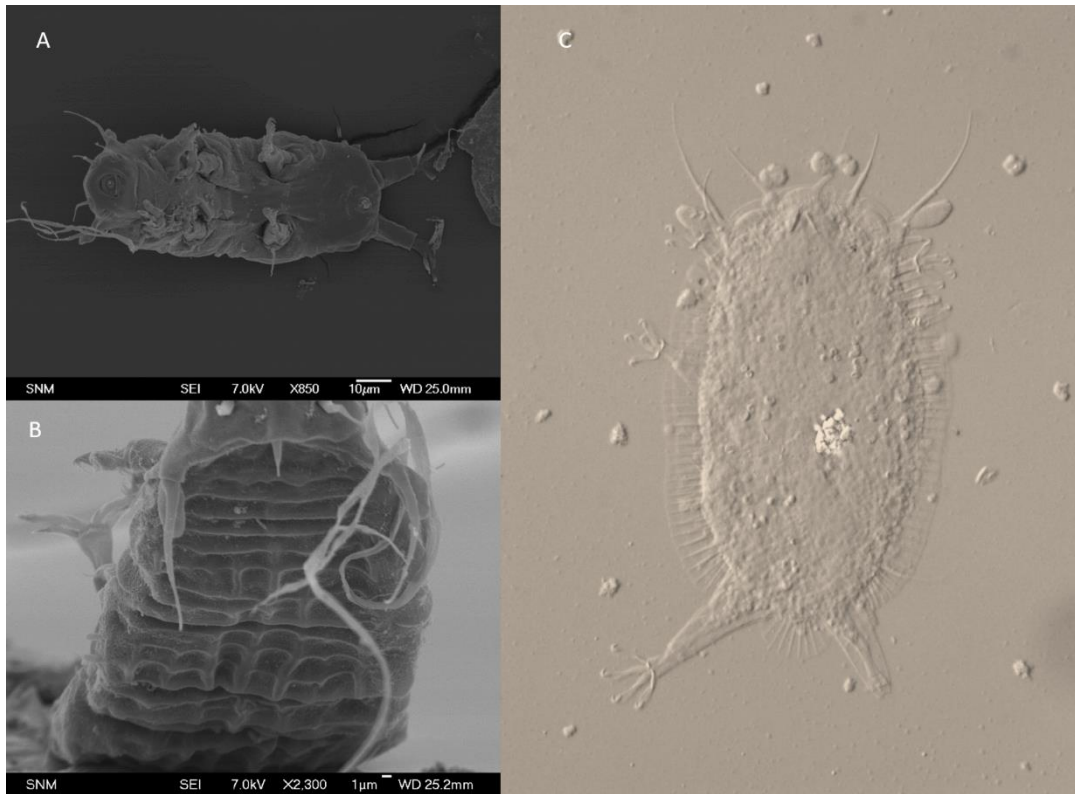


Figura 6. Generos de la familia Styraconyxidae. A) y B) *Styraconyx* sp. C) *Raiarctus* sp.nov.

Familia Tanarctidae

19. *Tanarctus helleouetae*: Los organismos colectados presentaron las expansiones aliformes del órgano sensitivo de la pata IV, característica de la especie *T. helleouetae* (Fig. 7).

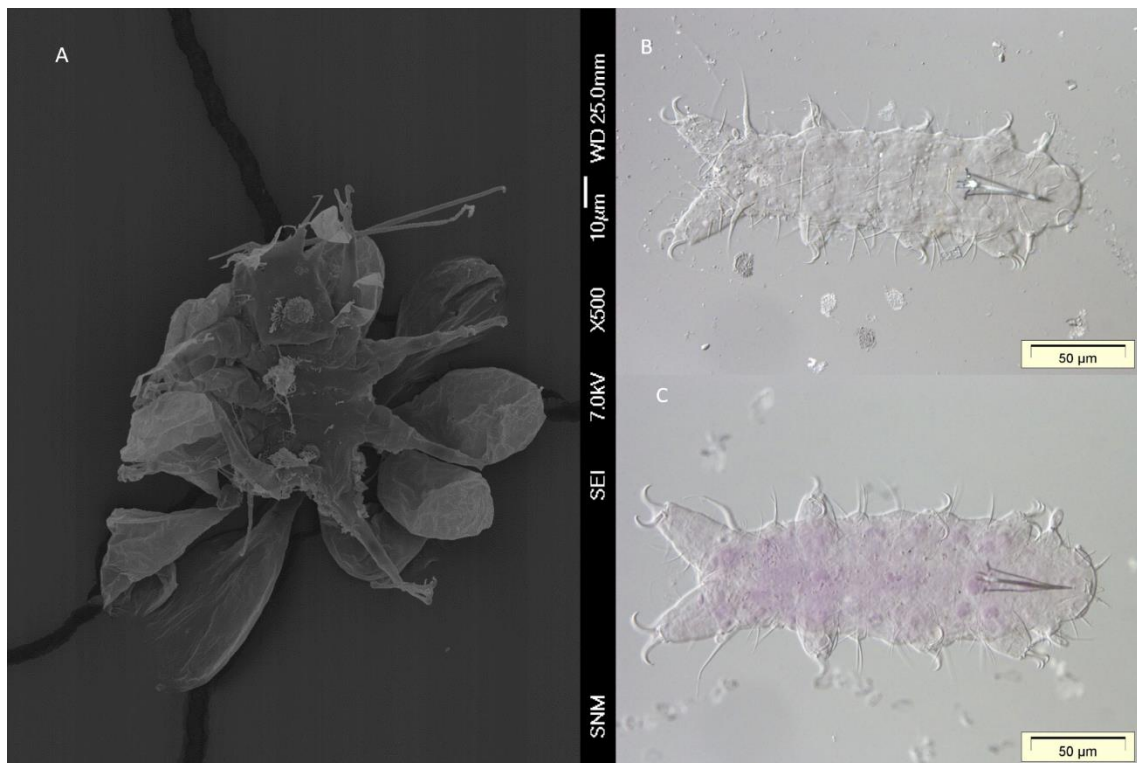


Figura 7. Géneros de la familia Stygarctidae y Tanarctidae A) *Tararctus helleouetae*. B) y C) *Megastygarrctides* sp.

Discusión y conclusión

En América, un total de 84 especies de tardígrados marinos han sido registradas. Las tres cuartas partes de esos registros se reportan en zonas intermareales, principalmente en arena silíceo y calcáreo (Miller y Perry, 2016). Sin embargo, casi la totalidad de los trabajos, han centrado sus esfuerzos en descripciones taxonómicas, por lo que los estudios que relacionen la diversidad de especies con los factores ambientales son escasos, tal como sucede en otras partes del mundo.

Los principales trabajos ecológicos del continente americano se han realizado en Brasil y Bahamas. Bartels y colaboradores (2018) no encontraron claras relaciones entre las especies y las variables ambientales. Mientras que, en costas brasileñas, da Rocha *et al.*, (2004), al estudiar las interacciones ambientales de *Batillipes pennaki* encontraron que su densidad poblacional está relacionada con la temperatura, la humedad, y las fracciones granulométricas. Esta última característica ambiental ha sido atribuida como principal factor en la diversidad de especies en otras partes del mundo.

En Apulia Italia, Accogli y colaboradores (2011) encontraron que las mayores abundancias de tardígrados se presentaron en los sedimentos con arenas gruesas. Por otro lado, Hansen *et al.* (2001) en Faroe Bank determinaron que la diversidad de tardígrados se relacionó con la arena fina. En este estudio el tamaño de grano no mostró ser un factor determinante para la diversidad. No obstante, la diversidad estuvo en función de la zonación arrecifal de acuerdo a las pruebas de T Hutcheson y el análisis de ordenación. Además, las preferencias ecológicas parecen estar relacionadas con la temperatura.

Por otra parte, uno de los factores al que se le ha atribuido estar relacionado a la configuración de especies de un sitio, son los niveles de nutrientes, y se ha establecido que niveles altos de nutrientes generan valores bajos de diversidad; pero, dichos estudios solo se han centrado a medir los valores de materia orgánica en sedimentos (Renaud-Mornant y Gourbault, 1981) y no se han explorado otras variables que se relacionan con la concentración de nutrientes en los ecosistemas bénticos.

Este trabajo contribuye al conocimiento de la diversidad de tardígrados marinos y su relación con niveles de nitratos, ortofosfatos y amonio. El análisis de correspondencia canónica demostró que las mayores concentraciones de amonio y bajas concentraciones de ortofosfatos favorecen la biodiversidad de tardígrados marinos. Aunque son necesarios más estudios para determinar a qué se debe la relación positiva entre la concentración de amonio y la diversidad de tardígrados, la explicación podría estar relacionada a su tipo de distribución en el ambiente bentónico. Los tardígrados generalmente se distribuyen en agregaciones, las cuales se forman de acuerdo a la disponibilidad de alimento (Nelson *et al.*,2010). Se ha demostrado que el incremento de amonio, favorece el incremento de rotíferos y estos grupos biológicos, han sido reportados como parte de la dieta de los tardígrados (Janakiraman *et al.*, 2016; Nelson *et al.*,2010). Por lo cual se puede inferir, que el amonio está relacionado con una estructura más compleja en la red trófica, factor que permite una mayor diversidad y abundancia de tardígrados marinos. Aún resulta prematuro asegurar este tipo de aseveraciones ya que son necesarios estudios de dieta específicos para las especies reportadas en este estudio.

De acuerdo al trabajo de Accogli *et al.* (2010), el impacto por el turismo es otro factor que afecta la composición de especies de tardígrados marinos. Este trabajo mostró

un comportamiento similar, en Mahahual un ambiente con alta intensidad turística, se presentaron valores de riqueza y diversidad menores a Xcalak. Lo cual, fue confirmado con las pruebas t Hutcheson entre localidades, encontrándose que el 75% presentaron diferencias significativas en la diversidad. Sin embargo, no fue posible determinar las variables ambientales que son afectadas por el incremento de turismo, ya que las pruebas t no mostraron diferencias significativas en las concentraciones de nitratos, amonio y ortofosfatos entre las localidades de estudio. Esto probablemente, debido a que los muestreos se desarrollaron considerando que los sitios tienen diferente impacto turístico de acuerdo a la literatura (Buitrago-Tello *et al.*, 2012; Daltabuit-Godás *et al.*, 2006; Hoffmann, 2009; SECTUR, 2019). Para lograr encontrar esta relación sería necesario un estudio a largo plazo que considerará la variación de actividades turísticas y relacionarlas con la diversidad de tardígrados marinos.

Este trabajo contribuye con el registro de seis géneros para el estado de Quintana Roo (*Anysoniches*, *Florarctus*, *Styraconix*, *Raiarctus*, *Megastyrgarctides* y *Tanarctus*), y con 19 taxones, representa la mayor riqueza de tardígrados marinos para toda la ecorregión del Caribe Occidental.

Literatura citada

- Accogli G, Gallo M, D'Addabbo R, Hansen J.G. 2011. Diversity and ecology of the marine tardigrades along the Apulian Coast. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. 49(1): 53-57.
- Bartels PJ, Apodaca JJ, Mora C, Nelson DR. 2016. A global biodiversity estimates of a poorly known taxon: phylum Tardigrada. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 178(4):730-736.
- Bartels P, Fontoura P, Nelson DR. 2018. Marine tardigrades of the Bahamas with the description of two new species and updated keys to the species of *Anisonyches* and *Archechiniscus*. *Zootaxa*. 4420: 43-40. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4420.1.3>
- Cabanillas-Terán N, Hernández-Arana HA, Ruiz-Zárate MÁ, Vega-Zepeda A, Sanchez-Gonzalez A. 2019. *Sargassum* blooms in the Caribbean alter the

- trophic structure of the sea urchin *Diadema antillarum*. PeerJ 7: e7589
<https://doi.org/10.7717/peerj.7589>.
- Chitwood BG.1951. A marine tardigrade from the Gulf of Mexico. Texas Journal of Science. 3 (1): 111-112.
- Degma, P., Bertolani, R., & Guidetti, R. 2009. Actual checklist of Tardigrada species; [Consultada 2019 Noviembre 22]. www.tardigrada.modena.unimo.it/miscellanea/Actual, 20.
- da Rocha CMC, Verçosa MM, Dos Santos ECL, Barbosa FB, De Oliveira DAS y De Souza, J.R.B. 2004. Marine tardigrades from the coast of Pernambuco, Brazil. Meiofauna Marina. 17: 97–101.
- Fontoura P, Bartels PJ, Jørgensen A, Kristensen RM, Hansen JG. 2017. A dichotomous key to the genera of the Marine Heterotardigrades (Tardigrada). Zootaxa. 4294:1–45.
- Giere O. 2009. Meiobenthology: the microscopic motile fauna of aquatic sediments. Alemania: Springer. Capitulo 5, Meiofauna Taxa: A Systematic Account. p. 165-171.
- Gawande A. 2010. The checklist manifesto: how to get things right. New York (NY): Metropolitan Books. Chapter 3, The end of the master builder; p. 48–71.
- Hansen JG, Jørgensen A, Kristensen RM. 2001. Preliminary Studies of the Tardigrade Fauna of the Faroe Bank. Zoologischer Anzeiger. 240: 385–393.
- Janakiraman A, Naveed MS, Asrar-Sheriff M, Altaff K. 2016. Meiofaunal response to the tidal Exchange and domestic sewage in the Adyar estuary, Chennai, India. Indian Journal of Geo-Marine Sciences. 45 (10): 1341-1348.
- Kaczmarek L, Bartels P, Roszkowska M, Nelson D. 2015. The Zoogeography of Marine Tardigrada. Zootaxa. 4037(1) 1–189.
- King CE. 1962. The occurrence of *Batillipes mirus* Richters (Tardigrada) in the Gulf of Mexico. Bull. Mar. Sci. 12: 201–203.

- Kristensen RM, Hallas TE. 1980. The Tidal Genus *Echiniscoides* and Its Variability, with Erection of *Echiniscoididae* fam.n. (Tardigrada). *Zool. Scr.* 9:113–127.
- Kristensen RM, Higgins RP. 1984. A new family of Arthrotardigrada (Tardigrada: Heterotardigrada) from the Atlantic Coast of Florida, U.S.A. *Trans Am MicroscSoc.* 103(3):295-311.
- Metcalfe CD, Beddows PA, Bouchot GG, Metcalfe TL, Li H, Van Lavieren H. 2011. Contaminants in the coastal karst aquifer system along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Environ Pollut.* 159(4): 991-997.
- Miller W. R. 1997. Tardigrades, bears of the moss. The Kansas School Naturalist. Emporia State University. Kansas.
- Miller WR, Perry ES. 2016. The coastal marine Tardigrada of the Americas. *Zootaxa* 4126:375–396.
- Nelson DR, Guidetti R, Rebecchi L. 2010. Tardigrada. In: Thorp JH, Covich PA, editors. *Ecology and Classification of North american Freshwater Invertebrates*. 1st ed. p. 455–484.
- Pérez-Pech, WA., Anguas-Escalante, A., de Jesús-Navarrete, A. & Hansen, J. G. (2018). Primer registro genérico de tardígrados marinos en costas de Quintana Roo, México. *Academia Journal.* 4: 1909- 1912.
- Ramazzotti, G. and Maucci, W. 1983. Il Phylum Tardigrada. *Doc. Ist. Ital. Idrobiol. Dott. Marco de Marchi.* 41: 1-1012
- Renaud-Mornant J, Goubault N. 1981. Premières prospections méiofaunistiques en Guadeloupe I Les biotopes et leurs peuplements. *Bulletin du Muséum national d'histoire naturelle.* 3 (4): 1011–1034.
- Renaud-Mornant, J. y Goubault, N. 1984 .Premières prospections méiofaunistiques en Guadeloupe II: Communautés des sables littoraux. *Hydrobiologia.* 18, 113–118.
- Renaud-Debyser, J. (1959). Etudes sur la faune interstitielle des Iles Bahamas. *Vie Milieu,* 10, 296–302.

- Renaud-Debyser, J. (1963). Recherches écologiques sur la faune interstitielle des sables, Bassin d'Arcachon ile de Bimini, Bahamas. *Vie Milieu*, 15,115–157.
- Romano III F, Gallo M, D'Addabbo R, Accogli G, Baguley J, Montagna P. 2011. Deep-sea tardigrades in the northern Gulf of Mexico with a description of a new species of Coronarctidae (Tardigrada: Arthrotardigrada), *Coronarctus mexicus*. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* 49 (S1): 48–52.
- Romano III F. 2009. Tardigrada of the Gulf of Mexico. In: Felder DL, CLamp DK, editors. *Gulf of Mexico—Origins, Waters, and Biota Biodiversity*. Texas: University Press, College Station. p. 809–813
- Schmitter-Soto J.J., Aguilar-Perera A., Cruz-Martínez A., Herrera-Pavón R.L., Morales Aranda A.A., Cobián-Rojas D. 2018. Interdecadal trends in composition, density, size, and mean trophic level of fish species and guilds before and after coastal development in the Mexican Caribbean. *Biodiversity and Conservation*, 27, 59– 474
- Spalding, MD, Fox, HF, Allen, GR, Davidson, N, Ferdaña, ZA, Finlayson, M, Halpern, BS, Jorge, MA, Lombana, A, Lourie, SA, Martin, KD, McManus, E, Molnar, J, Recchia CA y Robertson, J. (2007) Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*. 57: 573–583.

Capítulo IV. Discusión y conclusiones generales

Los estudios científicos de tardígrados marinos en el Gran Caribe han sido esporádicos (Miller y Perry, 2016; Bartels et al., 2018). Como consecuencia, los nuevos estudios dirigidos en la región generalmente proporcionarán nuevas especies para la ciencia. Esto coincide con los resultados del presente trabajo, ya que el 42 % de los taxones encontrados representan probables nuevas especies, lo cual refleja que el estudio de los tardígrados marinos requiere mayores esfuerzos para asegurar la identificación a nivel específico.

Se registraron 19 taxones (6 especies, 2 taxones conferidas a especies descritas, 3 morfoespecies y 8 probables nuevas especies) en las localidades de Mahahual e Xcalak, lo cual enriquece el conocimiento de la biodiversidad de tardígrados marinos

para el estado de Quintana Roo, así como también representa los primeros registros para México. Además, se realizó la descripción de la especie *Florarctus yucatanensis* sp. nov., la cual es la primera especie de tardígrado marino descrita para el país.

Es poco lo que se conoce acerca de las preferencias ecológicas de los tardígrados marinos y las variables ligadas a su diversidad. Los trabajos que abordan estos aspectos solo han incluido la profundidad, el tamaño de grano y el porcentaje de materia orgánica (Renaud-Mornant y Goubault, 1981; Hansen, 2001; da Rocha *et al.*, 2004). Sin embargo, también se ha observado que la composición de especies cambia de acuerdo a las características de las mareas o el impacto del turismo (Accogli *et al.*, 2010; Rubal *et al.*, 2016). El presente estudio contribuye con la evaluación de algunos nutrientes del agua intersticial como variables y la comparación de dos áreas arrecifales con diferente intensidad turística.

De acuerdo a los resultados de los análisis de ordenación, existe una relación positiva entre la diversidad de especies de tardígrados marinos y las concentraciones de amonio. Sin embargo, aún es necesario estudiar las causas de esta relación lo cual permitirá conocer mejor la ecología del grupo.

Literatura citada

Accogli G, Gallo M, D'Addabbo R, Hansen J.G. 2011. Diversity and ecology of the marine tardigrades along the Apulian Coast. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. 49(1): 53-57.

Baguley JG, Montagna PA, Hyde LJ, Kalke RD, Rowe GT. 2006. Metazoan meiofauna abundance in relation to environmental variables in the northern Gulf of Mexico deep sea. *Deep-Sea Research*. 53: 1344–1362. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2006.05.012>

Bartels PJ, Apodaca JJ, Mora C, Nelson DR. 2016. A global biodiversity estimate of a poorly known taxon: phylum Tardigrada. *Zool. J. Linn. Soc.* 178(4):730-736.

Bartels P, Fontoura P, Nelson DR. 2018. Marine tardigrades of the Bahamas with the description of two new species and updated keys to the species of Anisonyches

and Archechiniscus. Zootaxa. 4420: 43-40.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4420.1.3>

- Buitrago-Tello D, Marín-Guardado G, Fraga Berdugo J. 2012. El Turismo como Destino: Pesca, Conservación Ambiental y Desarrollo en Xcalak, Un Pueblo Costero Del Caribe Mexicano. En: Marín-Guardado G, García de Fuentes A, Daltabuit Godás M. Eds. Turismo, globalización y sociedades locales en la península de Yucatán, México. España: ACA y PASOS, 275p.
- Cisterna-Céliz JA, Marcelino-Barros M, Herguera JC, Rocha-Olivares, A. 2019. Metacommunity analysis of meiobenthos of deep-sea sediments from the Gulf of Mexico. *Mar. Biodiver.* 49: 1217-1231. <https://doi.org/10.1007/s12526-018-0899-0>
- Daltabuit-Godás M, Cisneros-Reyes H, Valenzuela-Valdivieso. 2006. Globalización y turismo en el sur de Quintana Roo. *Estudios de cultura maya.* 27: 99-124.
- da Rocha CMC, Verçosa MM, Dos Santos ECL, Barbosa FB, De Oliveira DAS y De Souza, J.R.B. 2004. Marine tardigrades from the coast of Pernambuco, Brazil. *Meiofauna Marina.* 17: 97–101.
- Fontoura P, Bartels PJ, Jørgensen A, Kristensen RM, Hansen JG. 2017. A dichotomous key to the genera of the Marine Heterotardigrades (Tardigrada). *Zootaxa.* 4294:1–45.
- Giere O. 2009. Meiobenthology: the microscopic motile fauna of aquatic sediments. Alemania: Springer. Capítulo 5, Meiofauna Taxa: A Systematic Account. p. 165-171.
- Hansen JG, Jørgensen A, Kristensen RM. 2001. Preliminary Studies of the Tardigrade Fauna of the Faroe Bank. *Zoologischer Anzeiger.* 240: 385–393.
- Hansen JG. 2005. The ongoing investigation of the Faroe Bank tardigrade fauna. In: BIOFAR Proceedings 2005. p. 220–223.
- Hoffman DM. 2009. Institutional legitimacy and co-management of a marine protected area: implementation lessons from the case of Xcalak Reefs National Park, Mexico. *Human Organization.* 68: 39–54.
<https://doi.org/10.17730/humo.68.1.28gw1106u131143h>.

- Kristensen RM, Hallas TE. 1980. The Tidal Genus *Echiniscoides* and Its Variability, with Erection of *Echiniscoididae* fam.n. (Tardigrada). *Zool. Scr.* 9:113–127.
- Landers SC, Romano III FA, Stewart PM, Ramroop S. 2012. A multi-year survey of meiofaunal abundances from the northern Gulf of Mexico continental shelf and slope. *Gulf of Mexico Science.* 30 (1–2): 20–29. <https://doi.org/10.18785/goms.3001.04>.
- Martínez-Meyer E, Sosa-Escalante JE, Álvarez F. 2014. El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección?. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 85 (1):1-9. <https://doi.org/10.7550/rmb.43248>.
- Miller WR, Perry ES. 2016. The coastal marine Tardigrada of the Americas. *Zootaxa.* 4126:375–396.
- Nelson DR, Guidetti R, Rebecchi L. 2010. Tardigrada. In: Thorp JH, Covich PA, editors. *Ecology and Classification of North american Freshwater Invertebrates.* 1st ed. p. 455–484.
- Pérez-Pech, WA., Anguas-Escalante, A., de Jesús-Navarrete, A. & Hansen, J. G. (2018). Primer registro genérico de tardígrados marinos en costas de Quintana Roo, México. *Academia Journal.* 4: 1909- 1912.
- Renaud-Mornant J, Goubault N. 1981. Premières prospections méiofaunistiques en Guadeloupe I Les biotopes et leurs peuplements. *Bulletin du Muséum national d'histoire naturelle.* 3 (4): 1011–1034.
- Renaud-Mornant, J. y Goubault, N. 1984 .Premières prospections méiofaunistiques en Guadeloupe II: Communautés des sables littoraux. *Hydrobiologia.* 18: 113–118.
- Reuscher MG, Baguley JG, Conrad-Forrest N, Cooksey C, Hyland JL, Lewis C, Montagna PA, Ricker RW, Rohal M, Washburn T (2017) Temporal patterns of Deepwater Horizon impacts on the benthic infauna of the northern Gulf of Mexico continental slope. *PLoS ONE* 12 (6): e0179923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179923>
- Rubal M, Veiga P, Fontoura P, Santos E, Sousa-Pinto I. 2016. Biodiversity of marine tardigrades from the northern coast of Portugal (Iberian Peninsula). *Zoological*

Journal of the Linnean Society. 178 (4): 747–754.
<https://doi.org/10.1111/zoj.12462>.

SECTUR. 2019. Acuerdo por el que se expide el Programa de Ordenamiento Turístico General del Territorio. DOF: 05/08/2019.

Spalding MD, Fox HF, Allen GR, Davidson N, Ferdaña ZA, Finlayson M, Halpern BS, Jorge MA, Lombana A, Lourie SA, Martin KD, McManus E, Molnar J, Recchia CA, Robertson J. (2007) Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*. 57: 573–583.