



El Colegio de la Frontera Sur

Diversidad de tardígrados en tres playas del SAM

Tesis

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

Por

Wilbert Andrés Pérez Pech

2018



El Colegio de la Frontera Sur

_____, ____ de _____ de 20____

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de:

Hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada:

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

	Nombre	Firma
Director	_____	_____
Asesor	_____	_____
Asesor	_____	_____
Sinodal adicional	_____	_____
Sinodal adicional	_____	_____
Sinodal suplente	_____	_____

Agradecimientos

Agradezco enormemente a todos los hicieron posible el desarrollo de presente estudio. A los biólogos Abril Anguas Escalante, Abel Abraham Vargas Esposito y José Olivia por su apoyo en el trabajo de campo y laboratorio. A mi comité tutelar conformado por mi director de tesis el Dr. Alberto de Jesús Navarrete y mis asesores, Dr. David González Solís y Dr. Luís Fernando Carrera Parra, por sus comentarios y correcciones a todos los escritos desarrollados. Así también, agradezco al Dr. Jesper Guldberg Hansen por su respaldo en la identificación taxonómica de los tardígrados colectados durante el estudio.

Tabla de contenido

Resumen.....	5
Capítulo I. Introducción.....	6
Capítulo III. Sistemática de los tardígrados marinos del Gran Caribe.....	22
Capítulo IV. Discusión y Conclusiones generales	43

Resumen

El Caribe mexicano es la única región de México en la que se han reportado tardígrados marinos (Pérez-Pech et al., 2018). Cuenta con el registro de cinco géneros: *Wingstrandarctus*, *Batillipes*, *Archechiniscus*, *Echiniscoides* y *Dipodarctus* (Pérez-Pech et al., 2018). El presente trabajo se implementó para documentar la diversidad de este grupo en la región. Se aportan datos acerca de la diversidad de tardígrados marinos en las playas de Mahahual, Xcalak y Puerto Morelos y su relación con los parámetros ambientales de cada playa. Se provee una clave de identificación para tardígrados del Gran Caribe e información sobre aspectos de su biología y ecología. El muestreo se realizó en todos los casos en dos transectos perpendiculares a la costa. En cada transecto se establecieron tres estaciones de muestreo (0, 50 100m). Para la obtención de tardígrados se tomó una muestra de sedimento en duplicado por estación, cada muestra fue sometida a un choque osmótico agregando agua dulce y posteriormente fueron procesadas en un tamiz de 45 µm. Adicionalmente, una muestra fue tomada en cada playa, para la caracterización del tipo de grano y la concentración de materia orgánica. Para caracterizar los parámetros físicos, se midió el oxígeno disuelto, temperatura y salinidad de la columna de agua. Se identificaron 12 especies de tardígrados de las cuales cinco son indescritas (*Anisonyches* sp. nov., *Megastygartides* sp. nov., *Styraconyx* sp. nov., *Paratanarctus* sp. nov., y *Florarctinae* sp. nov.) y dos son posiblemente nuevos géneros (*Halechiniscidae* gen. nov. 1 and *Halechiniscidae* gen. nov. 2). La riqueza de especies mostró está relacionada con la distribución del tipo de grano. Se presenta una lista revisada de las especies de tardígrados del Gran Caribe y una clave de identificación para familias, géneros y especies para esta región. Con ello se contribuye en el conocimiento de este taxón en México y se proporciona material útil para futuras investigaciones.

Palabras clave: Tardigrada, tardígrados marinos, biodiversidad, Caribe mexicano, taxonomía

Capítulo I. Introducción

Los tardígrados u “ositos de agua” pertenecen al phylum Tardigrada. Son animales microscópicos con un cuerpo bilateralmente simétrico conformado por cinco pseudo-segmentos (Nelson et al., 2010). El primero de ellos corresponde a la cabeza y los cuatro restantes al tronco, cada uno con un par de patas lobopodiales (Marley et al., 2011). Los tardígrados pueden habitar ambientes marinos sobre vegetación suspendida (como el sargazo) o forman parte de la meiofauna, una comunidad importante en ecosistemas marinos por participar en la descomposición de materia orgánica, ciclos de nutrientes y como alimento para organismos de los niveles tróficos superiores (Coull, 1990). También pueden establecer relaciones simbióticas tales como el comensalismo con esponjas y equinodermos o como ectoparásitos de cirrípedos (Kristensen y Hallas 1980). Los ambientes preferidos por un gran número de especies de tardígrados son las playas arenosas y con baja materia orgánica, donde tienen una alta diversidad (Hansen et al., 2001; Accogli et al., 2011). Los tardígrados marinos son un grupo poco estudiado alrededor del mundo, la tasa de descripción de especies no ha mostrado un avance significativo, durante casi tres siglos (desde su primera observación en 1773; Bartels et al., 2016). Lo cual demuestra el poco interés que han recibido, por lo que es probable que el phylum además de ser poco estudiado, también sea pobre en especies. Actualmente, de las 1220 especies del phylum, solo el 16 % corresponden a especies marinas (Bartels et al., 2016).

En América se reportan 82 especies de tardígrados marinos para sus seis regiones marinas, pero solo para 14 provincias y 21 ecorregiones (de acuerdo a la biogeografía establecidas por Spalding et al., 2007; Miller y Perry 2016). El 89 % de las ecorregiones marinas de América carecen de estudios sobre tardígrados. Entre estas ecorregiones se encuentran las costas de México, de las cuales, solo el Caribe mexicano cuenta con registros de tardígrados (Pérez-Pech et al., 2018), quienes registraron géneros de tardígrados en Xcalak y Mahahual (*Wingstrandarctus*, *Batillipes*, *Archechiniscus*, *Echiniscoides* y *Dipodarctus*).

El presente trabajo pretende proveer el registro de especies de tardígrados para tres playas del Caribe mexicano: Xcalak, Mahahual, y Puerto Morelos. Así como relacionar su diversidad con los parámetros físicos del ambiente. Además, con la finalidad de facilitar futuros estudios, se desarrolló una clave de identificación de tardígrados marinos del Gran Caribe.

El presente trabajo consta de cuatro capítulos. El presente capítulo introductorio (capítulo I). El capítulo II donde provee información de las especies identificadas en las tres playas —Xcalak, Mahahual, y Puerto Morelos—, así como los índices de diversidad (Shannon-Wiener, Pielou) por playa y su relación con los parámetros físicos del hábitat. En el capítulo III se propone una clave

dicotómica para familias, géneros, y especies del Gran Caribe; además, se proporciona la diagnosis para los géneros y especies estudiados en este trabajo. En el capítulo final se discuten los alcances del presente estudio y las conclusiones generales.

Capítulo I. Manuscrito enviado a la revista Marine Biology

Authors: Wilbert Andrés Pérez-Pech¹, Alberto de Jesús-Navarrete¹, Jesper Guldberg Hansen²

Title: Diversity of Marine Tardigrades (Tardigrada: Heterotardigrada) in the Mexican Caribbean

Affiliation(s)

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

²Section of Biosystematics, Zoological Museum, Natural History Museum of Denmark, University of Copenhagen, Denmark

Corresponding author: Wilbert Andrés Pérez-Pech : pilon_45@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-2375-4468

Abstract: Mexico has long been among the ecoregions in the Americas without records of marine tardigrades, despite being a country bordered almost entirely by coasts. In this study we investigated the marine tardigrade fauna along the Caribbean part of the Mexican coast. The sampling was carried out on October 13 and 14, 2017, at three sandy beaches at Quintana Roo: Xcalak, Mahahual and Puerto Morelos. Twelve species were identified; all are new records for Mexico. Nine of these species are new to science, including to new genera; *Anisonyches* sp. nov., *Megastygartides* sp. nov., *Styraconyx* sp. nov., *Paratanarctus* sp. nov., *Florarctinae* sp. nov., *Batillipes* aff. *tubernatis*, *Echiniscoides sigismundi* subsp. nov., *Halechiniscidae* gen. et nov. spec. 1 and *Halechiniscidae* gen. et nov. spec. 2). *Wingstrandarctus corallinus* was the only species that is common to other parts of the world. The highest specific richness (8 sp), diversity index of Shannon (0.61 decits/ind) and Pielou (0.79), was recorded on beaches where fine and medium sand was dominant. Our results increase the Mexican marine tardigrades information at generic and species level, and contribute to the knowledge of the ecology of tardigrades on sandy beaches.

Acknowledgments: The authors want to thank Abril Anguas Escalante, Abel Abraham Vargas Esposito and José Olivia, for their support during field and lab work. In addition, the first author extends his thanks to David González Solís and Luis Fernando Carrera.

Introduction

The marine tardigrades comprise the lesser-studied group within phylum Tardigrada, representing only 16% of total species (Bartels et al. 2016). There are few studies related with marine tardigrades, in particular about their diversity and ecology and many areas of the world remain inadequately surveyed (D'Addabbo Gallo et al. 1999; D'Addabbo Gallo et al. 1992; Hansen et al. 2001; D'Addabbo et al. 2007; D'Addabbo et al. 2007, 2008; Accogli, et al. 2011; Bartels et al. 2018). Mexico has long been among the ecoregions in the Americas without records of marine tardigrades, despite of being a country bordered almost entirely by coasts (Spalding et al. 2007; Miller and Perry, 2016). In the Pacific Ocean, the records of marine tardigrades closest to Mexico are those of the coasts of California with 14 species and 2 subspecies, in addition to a report in El Salvador, with 2 species (Miller and Perry, 2016). From the Gulf of Mexico, 12 species were described along the Florida coasts (Chitwood 1954; King 1962; Nichols et al. 2006; Romano III 2009; Romano III et al. 2011).

In the Caribbean Sea, the first report on marine tardigrades came from the Bahamas (Renaud-Debyser 1959, 1963) and extends to Bermuda and the Antilles, where *Archechiniscus marci*, *Stygarctus bradypus*, and *Dipodarctus subterraneus*, *Tanarctus tauricus* were described. In 1975, Pollock describes the species *Anisonyches diakidius* and records *Batillipes mirus*, and *Pleocola limnoriae* (Pollock 1975). More recently, Bartels et al. (2018) reported *Halechiniscus perfectus*, *Styraconyx craticulus*, *Wingstrandarctus corallinus*, *Florarctus* sp., *Hypsibius* sp. and *Orzeliscus* sp. for the same region. Also, these authors described two new species: *Anisonyches eleutherensis*, and *Archechiniscus bahamensis*.

In Bermuda, Kristensen and Sterrer (1960) provide the report of five species (*Parastygarctus sterreri*, *Batillipes pennaki*, *Echiniscoides sigismundi*, *Orzeliscus belopus* and *Florarctus antillensis*); of which were reported from Bonaire and the Curaçao Islands, *Echiniscoides sigismundi sigismundi* and *Styraconyx sargassi* (du Bois-Reymund Marcus 1960). Between 1984 and 1987, studies carried out on Guadalupe Island found *Parastygarctus sterreri*, *Renaudarctus psammocryptus*, *Florarctus antillensis*, *Tanarctus velatus* (Renaud-Mornant 1984, Renaud-Mornad and Goubault 1984). The species *Stygarctus goubaultae*, *Tanarctus helleouetae*, *Halechiniscus remanei antillensis* (Renaud-Mornat 1981a, Renaud-Mornant 1984) *Florarctus cervinus* and *Florarctus vulcanius* (Renaud-Mornat 1987) were new to tardigrade taxonomy. *Raiarctus aureolatus*, *Raiarctus colurus*, *Bathychiniscus craticulus*, *Zioella pavonina* were also new genera (Renaud-Mornat 1981b; Renaud-Mornant 1987; Pollock 1983).

The first study on Mexican marine tardigrades was performed recently by Pérez-Pech et al. (2018) who provided the first generic record of tardigrades from the coasts of Mahahual and Xcalak reporting the genera: *Batillipes*, *Archechiniscus*, *Dipodarctus*, *Echiniscoides* and *Wingstrandarctus*. However, a larger effort is required to achieve identification and description at the species level, as well as to address the study of their ecology. The present study is an extension of the survey conducted by Pérez-Pech et al. (2018), with the objective of describing the tardigrade fauna and its distributions among different sediment types, depths and other environmental factors at three beaches of the Mexican Caribbean.

The three beaches of Xcalak, Mahahual and Puerto Morelos included in the present study are part of the Mesoamerican Barrier Reef System (MBRS) (MBRS), which is the second largest reef system in the world. In Mexico, the MBRS extends to more than 800 km in the state of Quintana Roo (Jordán 1993; Álvarez-Hernández 2003). This reef system presents a complex interaction with a great variety of marine ecosystems (seagrass meadows, lagoons and mangrove forests among others). Up to 2011, 3,331 marine species were catalogued for the MBRS (Ardisson et al. 2011). Of these, only 9% corresponded to representatives of the benthic meiofauna and for only a small group of taxa, namely nematodes (Jesús-Navarrete 2003,2007) amphipods (Winfield and Escobar-Briones, 2007) and copepods (Suárez-Morales and Gasca 1998).

Materials and methods

The sampling was conducted on October 13 and 14, 2017, in three beaches of Quintana Roo (Fig. 1): Xcalak (Transect 1 18°21'18.4"N, 87°48'3.3"W; Transect 2 18°21'17.3"N, 87°48'3.8"W), Mahahual (Transect 1 18°43'20.2"N 087°42'7.8"W; Transect 2 18°43'19.9"N 087°42'08.3"W) and Puerto Morelos (Transect 1 20°51'7.9"N, 86°52'19.9"W; Transect 2 20°51'6.4"N,86°52'20.4"W). Puerto Morelos has a distance of 292 km from Xcalak and 248 km from Mahahual. Mahahual and Xcalak present a distance of 44 km.

A prospective sampling was carried on June 5, 2017 in beaches of Mahahual and Xcalak (six samples were collected). At each beach, two transects were established within the reef lagoon, with perpendicular orientation to the shore (T1, T2), both separated by 50 m, and in each transect three sampling stations were set according to distance from the shore (0, 50, 100 m). The depth ranges in the Puerto Morelos transects were from 0.20 m to 6 m. In Mahahual, the range was from 0.20 m to 2 m deep while at Xcalak a depth ranges of 0.20 m to 1 m.

At each station, duplicate sediment samples were collected with a PVC corer (10 cm internal diameter and 10 cm long). In total 36 samples were collected, 12 samples at each beach. Tardigrades were released from the sediment by fresh-

water shocking (Kristensen 1983), retained in a 45 µm sieve and fixed in 5% formalin. To determine the physical-chemical characteristics of the habitat, the oxygen concentration and temperature of the water column were measured with an YSY Model XX Oximeter, while the salinity was determined with a refractometer. Three sediment samples were retrieved on each beach, to determine the type of grain and concentration of organic matter.

To determine the mean grain size, the sediment samples were processed according to the sieve arrangement proposed by Blott and Pye (2001), and GRADISTAT 8.0 was used to determine the distribution of grain type. The concentration of organic matter was obtained through the ignition method, in which the weight difference of the sample was compared before and after being processed in a muffle 500° C for 2 hours (Dean 1974).

To ease identification of organisms, samples were stained with rose bengal and specimens were separated manually under a stereo microscope Nikon C-PS ZMZ445 at 35x of magnification. The tardigrades obtained were placed on a micro slide, fixed in a graded series of glycerin (10, 25, 75 and 100%) and sealed with Entellan. To obtain species identification, was used an Axio Lab.A1 Carl Zeiss microscope with differential interference contrast or phase contrast. The tardigrade species and individual numbers were counted, and the abundance per beach (N) was calculated. To analyses tardigrade diversity, species richness (S), Shannon Wiener diversity index (H) and Pielou's index of evenness (J) were calculated for each beach. To test the difference in diversity between the studied beaches, the t test modified by Hutchenson with 95% confidence was calculated. To determine the correlation between the species richness of each transects and the measured physical-chemical variables of each beach, a Principal Component Analysis was used, combined with a Pearson correlation analysis, in the First V 6.1.1.6 program.

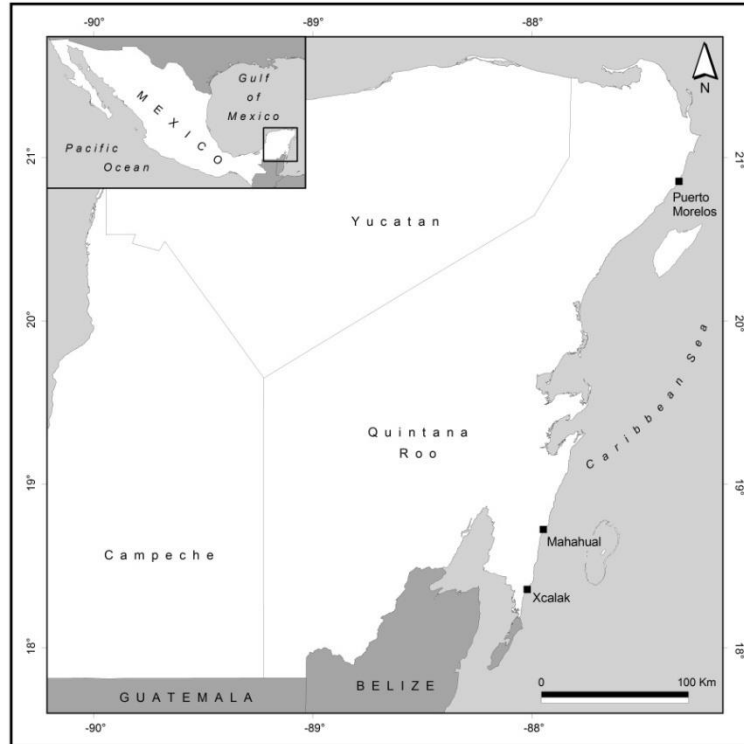


Fig. 1 Location of the study area and beaches.

Results

Six samples were analyzed during the prospective sampling. In the final sampling thirty-two samples were analyzed, twelve samples in each sampling site. Tardigrades were present in four samples at Mahahual and six samples at Puerto Morelos and Xcalak, respectively. A total of 152 tardigrades were identified to 12 species (Table 1; Table 2), all of which are first records for Mexico. Nine of these species are new to science, including a new subspecies and two new genera (*Anisonyches* sp. nov., *Megastygartides* sp. nov. *Styraconyx* sp. nov., *Paratanarctus* sp. nov., *Florarctinae* sp. nov., *Batillipes* aff. *tubernatus*, *Echiniscoides sigismundi* subsp., Halechiniscidae gen. et nov. spec. 1 and Halechiniscidae gen. et nov. spec. 2). The species belong to eleven genera distributed in four arthrotardigrade families (Archechiniscidae, Batillipedidae, Halechiniscidae and Stygarctidae) and a single Echiniscoidean family (Echiniscoididae). The family Halechiniscidae was the most diverse and abundant taxon of the studied beaches, with 56 specimens collected, belonging to five species.

The abundance of tardigrades and the species richness were highest in Puerto Morelos (82 specimens and 8 species), whereas the diversity (Shannon-Wiener diversity index and Pielou) was highest in Mahahual. The Shannon-Wiener diversities of Mahahual and Puerto Morelos showed no significant differences ($p=0.33>0.05$). On the other hand,

Xcalak showed significant differences in their values of diversity (Shannon-Wiener) compared to both Mahahual ($p = 0.002 < 0.05$) and Puerto Morelos ($p = 0.009 < 0.05$).

The distribution of the grain type presented differences between the beaches (Table 3). Mahahual and Xcalak presented a dominance of fine sand grains, whereas Puerto Morelos showed dominance of medium sand grains. Temperature and dissolved oxygen of the water column, as well as the concentration of organic matter in the sediment, did not show much variation between beaches (Fig. 2). The temperature varied between 29-32° C and dissolved oxygen between 10-14.40 ml/L. The concentration of organic matter varied between 3-5.32% (Fig. 2).

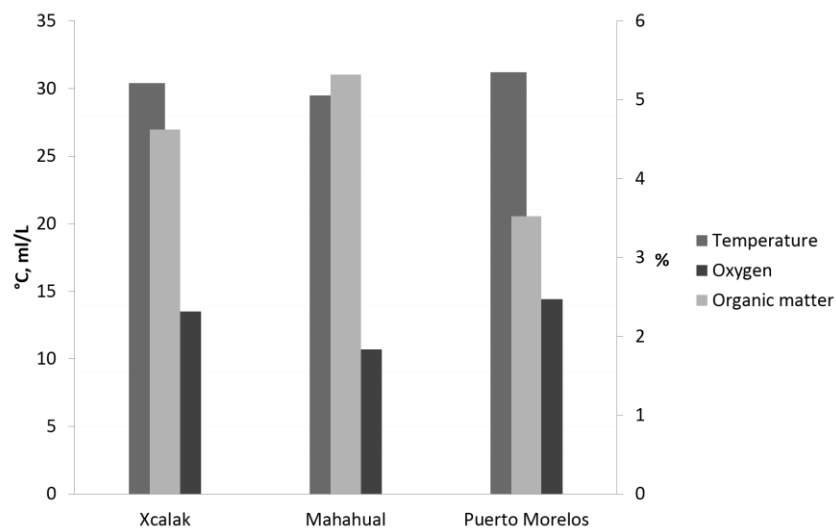


Fig. 2 Organic material, temperature and dissolved oxygen from beaches studied.

The Principal Components Analysis showed that the species composition on all studied beaches was strongly linked to the distribution of the grain type (Fig. 3). Most species occur in fine and medium sand, whereas only two species (*Archechiniscus* sp. and *Styraconyx* sp. nov.) occur in coarser sediments. *Styraconyx* sp. nov. was the only species found on all three beaches.

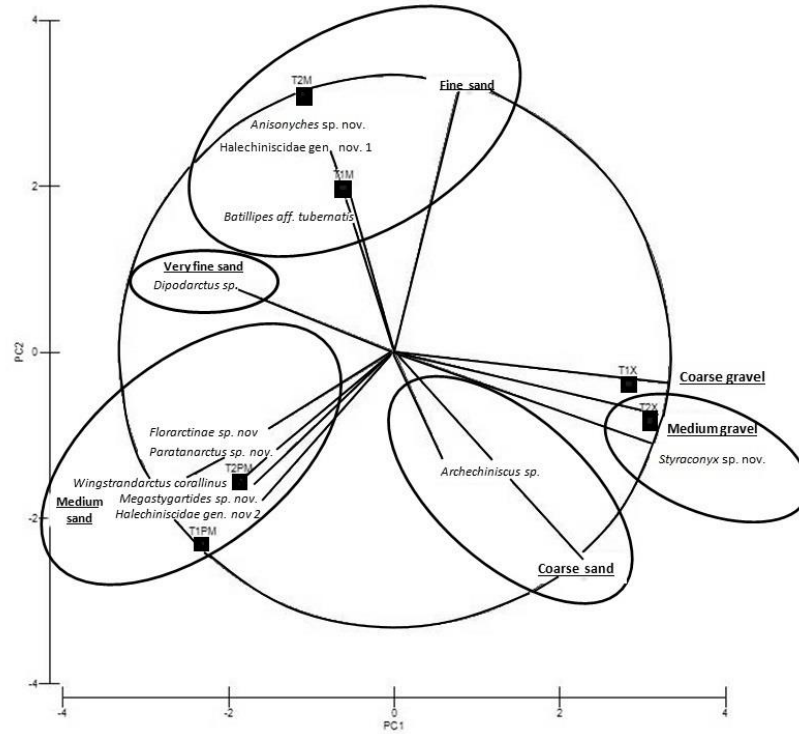


Fig. 3 Principal Components Analysis showing the distribution of species in the transects established during this study and their relation with physical parameters.

Discussion

Although there are several studies on the ecology of marine tardigrades in Central America, they are limited to discuss specific richness and scarcely report the environmental parameters of the sites studied (Lindgren 1971; Pollock 1970, 1971, 1983; Miller et al. 2014). In addition to these, only a single study of marine tardigrades in the Americas has considered abundance and diversity indices with regard to depth, distance to nearest shore, and sediment grain size (Bartels et al. 2018). The present work is the first to provide information on the specific richness and ecological data of tardigrade communities in the Mexican Caribbean. This is the first record of marine tardigrade species for Mexico and although the contribution is important, it is small compared to the extension of the Mexican littorals. This work also provides the first record of tardigrade species for Western Caribbean (ecoregion 68), which belongs to the tropical Atlantic. In spite of a good number of tardigrade records in the Americas, the records for the Tropical Atlantic are very limited or absent (Miller and Perry 2016), and studies of unexplored areas most often result in new species for science (Bartels et al. 2018; Gomes-Júnior et al. 2018; Perry et al. 2018). In this study, 81 % of the species documented are

new to tardigrade taxonomy and 18 % are potentially new genera, which showed that there is still a high number of undescribed species in the marine regions of Tropical America.

The specific richness found in this study was similar to that reported in the Bahamas by Bartels et al. (2018), who recorded 11 species. Six of which belong to five genera documented in this study (*Dipodarctus*, *Batillipes*, *Anisonyches*, *Archechiniscus*, *Styraconyx* and *Wingstrandarctus*). *Wingstrandarctus corallinus* is the only species shared between the Bahamas and the Mexican Caribbean. The studied environments are similar due to their distance and that the sampling effort was similar (48 samples analyzed in this study, 60 in the study by Bartels et al. 2018). In other parts of the world a high number of tardigrade species has been reported. Along the coasts of Italy, Accogli et al. (2011) found 52 species, with Halechiniscidae as the richest family in species (41), while D'Addabbo et al. (1999) reported the presence of 16 species, belonging to the families Stygarctidae, Halechiniscidae and Batillipidae. In this case in the Mexican Caribbean 11 species were found, with Halechiniscidae as the richest family in species (5), followed by Styraconyxidae with two. The differences between species richness in the Caribbean and Italy may be due to limitations in our collection method and processing.

Although the ecology of marine tardigrades was addressed only a few occasions, studies show that, in general, sandy sediments with low organic matter (2.16%) are good environments for high diversity, even when diversity is measured with the number of species or the Shannon-Wiener diversity index (D'Addabbo et al. 1999; D'Addabbo et al. 2007, 2008). Our results indicate a diversity close to its Hmax (according to the Pielou index), with Mahahual (0.61 decits/ind) and Puerto Morelos (0.47 decits/ind) having the highest values of H', corresponding to sandy sediments with low organic content (3-5.32%). This agrees to data reported by Accogli et al. (2011). At the Faroe Bank (Hansen et al. 2001) the diversity was higher in fine sediments compared to coarse sand. In the Mexican Caribbean, finer sediments (fine and medium sand) support a high species richness, whereas coarser sediments, such as coarse sands and medium gravel, had only one species (*Archechiniscus* sp. and *Styraconyx* sp. nov., respectively).

Although our study adds to the evidence that the type of sediment influences the assembly and richness of species, we need more data to confirm any definite species-habitat associations. The remarkably high proportion of species new to science (9 out of 11) obstructs the comparison of the habitat associations of the species found in this study with other studies. Furthermore, there is very little overlap of species between localities and more than half of the species occur with a single specimen each. Only the four species *Archechiniscus* sp., *Dipodarctus* sp., *Styraconyx* sp. nov. and

Wingstrandarcus corallinus were found in more than one locality and of those, only *Styraconyx* sp. nov. was found in all three beaches.

References

- Accogli G, Gallo M, D'addabbo R, Hansen, J (2011) Diversity and ecology of the marine tardigrades along the Apulian Coast. J. Zool. Syst. Evol. Res, 49: 53-57. doi: [10.1111/j.1439-0469.2010.00598.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2010.00598.x)
- Álvarez-Hernández JH (2003) Trophic Model of a fringing coral reef in the Southern Mexican Caribbean [Modelo Trófico para un Arrecife de Coral de Tipo Borde-Barrera en el Sur del Caribe Mexicano]. Fish. Cent. Res. Rep. 11: 227-235.
- Ardisson PL, May-Kú A, Herrera-Dorantes MT, Arellano-Guillermo A (2011) El Sistema Arrecifal Mesoamericano-México: consideraciones para su designación como Zona Marítima Especialmente Sensible. Hidrobiológica 21: 261-280.
- 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: 730-736. doi:10.1111/zoj.12441
- 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. doi: 10.11646/zootaxa.4420.1.3
- Blott SJ, Pye K (2001) Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surf. Process. Landf 26: 1237–1248. doi:10.1002/esp.261
- Chitwood BG (1954) Tardigrades of the Gulf of Mexico. In: Gulf of Mexico its origin waters and Marine. Fish. Bull. Fish Wildl. Serv. 55: 1–325.
- D'Addabbo Gallo M, Grimaldi de Zio S, De Lucia MRM, Pietanza R, D'addabbo R (1999) Diversity and dynamics of an interstitial Tardigrada population in the Meloria Shoals, Ligurian Sea, with a redescription of *Batillipes similis* (Heterotardigrada, Batillipedidae). Ital. J. Zool. 66: 51-61. doi:10.1080/11250009909356237
- D'Addabbo R, Gallo M, De Leonardi C, Sandulli R, Grimaldi de Zio S (2007) Further studies on the marine tardigrade fauna from Sardinia (Italy). J. Limnol. 66: 56-59.
- D'Addabbo Gallo M, Grimaldi de Zio S, Morone de Lucia RM, Troccoli A (1992) Halechiniscidae and Echiniscoididae from the Western Mediterranean Sea. (Tardigrada: Heterotardigrada). Cah. Biol. Mar. 33: 299-318.

- D'Addabbo R, Sandulli R, De Leonardis C, Gallo M (2007) La tardigradofauna di due aree marine protette italiane. *Biol. Mar. Mediterr* 14: 100-101.
- D'Addabbo R, Sandulli R, De Leonardis C, Gallo M (2008) Further studies on meiofauna and tardigrade fauna in two Italian marine protected areas. *Biol. Mar. Mediterr.* 15: 248-249.
- Dean WE (1974) Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *J. Sediment. res.*, 44, 242-248.
- de Jesús-Navarrete A (2003) Diversity of nematoda in a caribbean atoll: Banco Chinchorro, Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 73: 47–56.
- de Jesús-Navarrete A (2007) Nematodos de los arrecifes de Isla Mujeres y Banco Chinchorro, Quintana Roo. *México. Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 42: 193 – 200.
- Du Bois-Reymond Marcus E (1960) Tardigrada from Curaçao, Bonaire and Los Testigos. *Stud. Fauna Curaçao Caribb. other Isl.* 45: 52-57.
- Gomes-Júnior E, Santos E, da Rocha CMC, Santos PJP, Fontoura P (2018) A new species of *Ligiartctus* (Tardigrada, Arthrotardigrada) from the Brazilian continental shelf, Southwestern Atlantic Ocean. *Mar. Biodivers.* 48: 5-12. doi:10.1007/s12526-017-0709-0
- Hansen JG, Jørgensen A, Kristensen RM (2001) Preliminary Studies of the Tardigrade Fauna of the Faroe Bank. *Zool. Anz.* 240: 385–393. doi:10.1078/0044-5231-00046
- Jordán DE (1993) El ecosistema arrecifal coralino del Atlántico Mexicano. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 45: 157-175.
- King CE (1962) The occurrence of *Batillipes mirus* Richter (Tardigrada) in the Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci. Gulf Caribb.* 12: 135–140.
- Kristensen RM (1983) Loricifera, a new phylum with Aschelminthes characters from the meiobenthos. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* 21:163–80. doi:10.1111/j.1439-0469.1983.tb00285.x
- Kristensen RM, Sterrer WE (1986) Phylum Tardigrada (Water bears). In: Sterrer, W. (Ed.), *Marine fauna and flora of Bermuda: A Systematic Guide to the Identification of Marine Organisms*. John Wiley & sons, New York, pp 265–268.
- Lindgren EW (1971) Psammolittoral marine tardigrades from North Carolina and their conformity to worldwide zonation patterns. *Cah. Biol. Mar.* 4: 481-496.

- Miller WR, Johansson C, Adams B (2014) Tardigrades of North America: Records for five marine species from the Pacific Coast. *Trans. Kans. Acad. Sci.* 117: 281-286. doi:10.1660/062.117.0315
- Miller WR, Perry ES (2016) The coastal Tardigrada of the Americas. *Zootaxa* 4126: 375-395. doi:10.11646/zootaxa.4126.3.4
- Nichols PB, Nelson DR, Garey J R (2006) A Family Level Analysis of Tardigrade Phylogeny. *Hydrobiologia* 558: 53-60. doi:10.1007/s10750-005-1414-8
- Pérez-Pech WA, Anguas-Escalante A, de Jesús-Navarrete A, Hansen JG (2018) Primer registro genérico de tardígrados marinos en costas de Quintana Roo, México. *Acad. J.* 4: 1909- 1912.
- Perry, E. S., Rawson, P., Ameral, N. J., Miller, W. R., Miller J. D. (2018). *Echiniscoides rugostellatus* a new marine tardigrade from Washington, U.S.A. (Heterotardigrada: Echiniscoidea: Echiniscoididae: Echiniscoidinae). *Proc. Bio. Soc. Wash.* 131: 182-193. doi:10.2988/18-00004
- Pollock LW (1970) Distribution and dynamics of interstitial Tardigrada at Woods Hole Massachusetts U. S. A. *Ophelia* 7: 145 175.
- Pollock LW (1971) *Batillipes dicrocercus* n. sp., *stygarcus granulatus* n. sp. and other tardigrada from woods hole, Massachusetts, US. *Trans. Am. Micros. Soc.* 89, 38–52.
- Pollock LW (1975) Observations on marine Heterotardigrada, including a new genus from the Western Atlantic Ocean. *Cah. Biol. Mar.* 16: 121–132.
- Pollock LW (1983) A closer look at some marine Heterotardigrada. II. The morphology and taxonomy of *Bathyechiniscus*, with a description of *B. craticulus* n. sp. from the Caribb. *Bull. Mar. Sci.* 33: 109–117.
- Renaud-Debyser J (1959) Études sur la faune interstitielle des îles Bahamas. *Vie Milieu* 10: 296–302.
- Renaud-Debyser J (1963) Recherches écologiques sur la faune interstitielle des sables, Bassin d'Arcachon île de Bimini, Bahamas. *Vie Milieu* 15: 115–157.
- Renaud-Mornant J (1984) Nouveaux Authrotardigrades de Antilles. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. Paris* 4: 975–988.
- Renaud-Mornant J (1981a) *Stygarcus goubaultae* n. sp., un nouveau tardigrade marin (Arthrotardigrada) de la Guadeloupe. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. Paris* 3: 175–180.
- Renaud-Mornant, J (1981b) *Raiarctus colurus* n.g., n.sp., et *R. aureolatus* n. sp., tardigrades (Arthrotardigrada) marins nouveaux de sédiments calcaires. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. Paris*, 3: 515–522.

- Renaud-Mornant J Gorbault N (1984) Premières prospections meiofaunistiques en Guadeloupe II: Communautés dessables littoraux. *Hydrobiologia* 118: 113–118. doi:10.1007/BF00031793
- Renaud-Mornant J (1987) Halechiniscidae nouveaux de sables coralliens tropicaux (Tardigrada, Arthrotardigrada). *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. Paris* 4: 353–373.
- Romano III FA (2009) Tardigrada of the Gulf of Mexico. In Felder DL, Camp DK (Eds.) *Gulf of Mexico Origins, Waters, and Biota. Biodiversity*, A & M University Press College, Texas, 809-813.
- 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: 48-52. doi:10.1111/j.1439-0469.2010.00597.x
- Spalding MD, Fox HE, Allen GR, Davidson N, Ferdaña ZA, Finlayson M, Robertson J (2007) Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *Bioscience* 57: 573-583. doi:10.1641/B570707
- Suárez-Morales E. & Gasca R. (1998). Updated checklist of the free-living marine Copepoda (Crustacea) of México. *An. Inst. Biol. Ser. Zool.*, 69, 105-109.
- Winfield I, Escobar-Briones E (2007) Anfípodos (Crustacea: Gammaridea) del sector norte del Mar Caribe: listado faunístico, registros nuevos y distribución espacial. *Rev. Mex. Biodiv.* 78: 51-61.

Tables

Table 1 List of taxa and abundance recorded during prospective sampling

Family	Species	Mahahual	Xcalak	Total
Archechiniscidae	<i>Archechiniscus sp.</i>	0	1	1
Echiniscoididae	<i>Echiniscoides sigismundi subsp. nov</i>	1	0	1
Batillipidae	<i>Batillipes aff. tubernatis.</i>	1	0	1
Halechiniscidae	<i>Dipodartus sp.</i>	34	0	34
	Halechiniscidae gen. nov. 1	2	0	2
Floractinae	<i>Wingstradarctus corallines</i>	1	0	1

Table 2 Ecological data from sites studied. Tardigrades, specific richness (S), abundance (N), diversity index of Shannon-Wiener (H'), maximum value of H (Hmax), diversity index of Pielou (J).

Family	Species	Xcalak		Mahahual		Puerto Morelos		Total
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	
Archechiniscidae	<i>Archechiniscus sp.</i>	0	1	0	0	0	1	2
Batillipedidae	<i>Batillipes aff. tubernatis</i>	0	0	1	0	0	0	1
Echiniscoididae	<i>Anisonyches sp. nov.</i>	0	0	0	1	0	0	1
Stygartidae	<i>Megastygartides sp. nov.</i>	0	0	0	0	31	0	31
Styraconyxidae	<i>Styraconyx sp. nov.</i>	8	9	1	0	1	2	21
	<i>Paratanartus sp. nov.</i>	0	0	0	0	0	1	1
Halechiniscidae	<i>Wingstrandartus corallinus</i>	0	0	2	5	39	4	50
	Floractinae sp. nov.	0	0	0	0	0	1	1
	<i>Dipodartus sp.</i>	0	0	1	1	0	1	3
	Halechiniscidae gen. nov. 1	0	0	0	1	0	0	1
	Halechiniscidae gen nov .2	0	0	0	0	1	0	1
	S	2		6		8		113
	N	18		13		82		
	H'	0.093		0.61		0.47		
	Hmax	0.30		0.78		0.85		
	J	0.31		0.79		0.56		

Table 3 Grain distribution by percentage of the grain type for beach

Grain type	Xcalak	Mahahual	Puerto Morelos
Coarse Gravel	8.5 %	1.9 %	1 %
Medium gravel	10.7 %	2.1 %	2.2 %
Coarse sand	12 %	5.4 %	9.2 %
Medium sand	12.2 %	21.6 %	48 %
Fine sand	46.1 %	58.1 %	34.4 %
V Fine Sand	10.5 %	10.5 %	14.3 %

Capítulo III. Sistemática de los tardígrados marinos del Gran Caribe

Resumen

El Gran Caribe es una de las regiones del Atlántico con más registros de tardígrados marinos. Sin embargo, no se cuenta con una lista de especies actualizada y/o claves de identificación. El presente estudio provee la lista sistemática actual de los tardígrados del Gran Caribe, provee la diagnosis de las especies documentadas durante este estudio y propone una clave de identificación para identificación de familias, géneros y especies.

Introducción

En la actualidad, el phylum Tardigrada se compone de 1200 especies, de las cuales, solo el 16 % corresponde a tardígrados marinos (Bartels et al. 2016). Este dato, evidencia un avance lento en el conocimiento de la diversidad de estos organismos. Distintos autores relacionan esto con la falta de métodos especializados para su colecta, a su pequeño tamaño, y a su baja abundancia (Fontoura et al. 2017; Jørgensen et al. 2010; Miller y Perry 2016). Lo cual conlleva a un bajo interés en su estudio y hoy en día son pocos los investigadores que pueden asegurar una buena identificación taxonómica (Jørgensen et al. 2010). Por lo cual es necesario formar más taxónomos e incentivar el estudio de los tardígrados marinos. Para ello es elemental generar herramientas que faciliten la identificación taxonómica de estos organismos, ya que es común la ausencia de claves que faciliten un mejor camino para la identificación de los tardígrados, desde niveles superiores en la clasificación taxonómica hasta el nivel genérico y específico. La obra que generalmente se emplea para identificación taxonómica es el compendio de descripciones y claves de identificación de Ramazzotti y Maucci (1983), así como la más reciente clave de identificación de géneros de tardígrados marinos propuesta por Fontoura et al. (2017). En el Gran Caribe no se cuenta con una clave de identificación de tardígrados marinos, por ello en el presente trabajo se propone una clave dicotómica para familias, géneros, y especies reportadas en esta región

Materiales y métodos

Para obtener la lista actualizada de tardígrados marinos para el Gran Caribe, se efectuó una ardua revisión bibliográfica empleando como base el trabajo de Miller y Perry (2016). Donde están documentadas las especies de tardígrados para las costas de América. Para constatar que los registros de cada especie se encuentren en el Gran Caribe, se hizo la consulta de la distribución de cada especie en el "Mapa Interactivo de Tardigrados del Mundo" basado en el trabajo de

zoogeografía de tardígrados marinos de Kaczmarek et al. (2015). Una vez obtenida la lista sistemática de especies de tardígrados del Gran Caribe, se prosiguió a determinar el estatus taxonómico de cada especie, para ello, se empleó la actual lista de especies de tardígrados propuesta por Degma et al., (2017).

Posteriormente, se realizó una exhaustiva consulta bibliográfica para la obtención de la descripción de cada especie. Para lo cual se consultó la obra de Ramazzotti y Maucci (1983) y las publicaciones con la descripción de algunas especies. Para el desarrollo de la clave dicotómica, se extrajeron los caracteres que nos permitieron diferenciar a las especies tales como: características de la cutícula, configuración de garras, presencia de dígitos, expansiones cuticulares, y presencia de órganos adhesivos y genitales. Se emplearon con guías para el desarrollo de la presente clave, los trabajos de Ramazzotti y Maucci (1983), y Fountoura et al., (2017).

Las especies identificadas en las playas de Mahahual, Xcalak, y Puerto Morelos producto de la presente tesis, fueron incluidas en la lista sistemática de especies para el Gran Caribe. Pero solo las especies *Styraconix* sp nov., *Paratanarctus* sp. nov. y *Anisonyches* sp. nov. fueron incluidas en la clave dictómica. Los taxones Halechiniscidae gen. nov. 1, Halechiniscidae gen nov. 2 ,y Florarctinae sp nov. no se incluyeron en la presente clave debido a que aún es necesaria una revisión exhaustiva respecto a sus caracteres taxonómicos.

Resultados

Se obtuvo la lista actualizada de especies para el Gran Caribe con un total de 39 especies, 6 son potencialmente nuevas especies para la ciencia y dos además son potencialmente nuevos géneros. Así también se propone una clave dicotómica para especies del Gran Caribe.

Lista sistemática (en negritas las especies documentadas en el presente trabajo)

<p>-Archechiniscidae</p> <p><i>A. bahamensis</i> Bartels, Fontoura y Nelson 2018</p> <p>-Batillipedidae</p> <p><i>B. mirus</i> de Zio de Grimaldi et al., 2003</p> <p><i>B. pennaki</i> Pollock, 1976</p> <p><i>B. friaufi</i> McKirdy, 1975.</p> <p><i>B. tubernatis</i> Pollock, 1971</p> <p>-Coronarctidae</p> <p><i>C. disparilis</i> Renaud-Mornant, 1987</p> <p><i>C. laubieri</i> Renaud-Mornant, 1988</p> <p><i>Coronarctus mexicus</i>, Romano III, Gallo, D'Addabbo, Accogli, Baguley & Montagna, 2011</p> <p>-Halechiniscidae</p> <p>Halechiniscidae gen. nov. 1</p> <p>Halechiniscidae gen nov. 2</p> <p>-Dipodarctinae</p> <p><i>D. subterraneus</i> (Renaud-Mornant, 1987)</p> <p><i>D. anaholiensis</i> Pollock, 1995</p> <p>-Euclavarctinae</p> <p><i>E. thieli</i> Renaud-Mornant 1975</p> <p>-Florarctinae</p> <p>Florarctinae sp nov.</p> <p><i>F. antillensis</i> Van der Land, 1968</p> <p><i>W. corallinus</i> Kristensen 1984</p> <p>-Halechiniscinae</p> <p><i>H. perfectus</i> Morgan y O'Reilly 1988</p> <p><i>H. remanei</i> Schulz, 1955</p> <p>-Orzeliscinae</p> <p><i>O. belopus</i> de Bois-Reymond Marcus, 1952</p> <p><i>P. orzeliscoides</i> Kristensen y Higgins 1989</p> <p><i>M. duodigifinis</i> Gross, Miller y Hochberg, 2014</p>	<p>-Styraconyxidae</p> <p><i>A. bicuspis bicuspis</i> Pollock, 1979</p> <p><i>R. aureolatus</i> Renaud-Mornant, 1981</p> <p><i>R. colurus</i> Renaud-Mornant 1981</p> <p><i>Styraconix</i> sp nov.</p> <p><i>S. craticulus</i> Pollock 1983</p> <p><i>Paratanarctus</i> sp. nov.</p> <p>-Renaudarctidae</p> <p><i>R. psammocryptus</i> Kristensen & Higgins, 1984</p> <p>-Tanarctidae</p> <p><i>T. helleouetae</i> Renaud-Mornant, 1984</p> <p><i>T. tauricus</i> Renaud-Debyser, 1959</p> <p><i>Z. pavonia</i> Renaud-Mornant, 1987</p> <p>-Stygarctidae</p> <p>-Stygarctinae</p> <p><i>P. sterreri</i> Renaud-Mornant, 1970</p> <p><i>S. bradypus</i> Schulz, 1951</p> <p><i>S. goubaultae</i> Renaud-Mornant, 1981</p> <p>-Megastygarctidinae</p> <p><i>Megastygarctides orbiculatus</i> McKirdy, Schmidt & McGinty-Bayly, 1976</p> <p>-Echiniscoididae</p> <p>-Echiniscoidinae</p> <p><i>E. sigismundi</i> subsp. nov.</p> <p><i>E. hoepneri</i> Kristensen y Hallas, 1980</p> <p><i>Anisonyches</i> sp. nov.</p> <p><i>A. eleutherensis</i> Bartels, Fontoura y Nelson 2018</p>
---	--

Diagnosis de especies y géneros registradas en las playas de Mahahual, Xcalak y Puerto Morelos

Phylum Tardigrada Doyère, 1840

Clase Heterotardigrada Marcus, 1927

Orden Arthrotardigrada Marcus, 1927

Familia Archechiniscidae Binda, 1978

Archechiniscus sp.: Arreglo de garras del tipo *Archechiniscus* (Figura 1), la posición de los especímenes montados no es la adecuada para definir con exactitud la especie

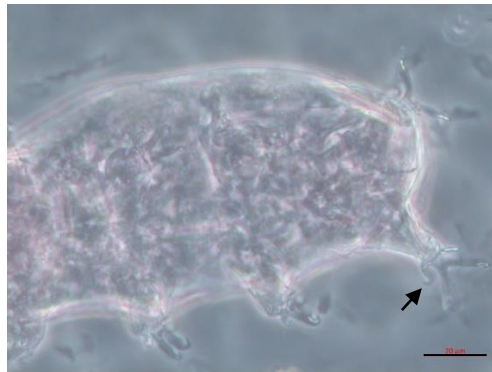


Figura1.- *Archechiniscus* sp. vista ventral, flecha señalando garras Línea de escala= 20µm

Familia Batillipedidae Ramazzotti, 1962

Batillipes aff. *tubernatis*: Tardígrados con discos adhesivos en cada dígito, con un par de expansiones cuticular entre la pata III y IV, la región caudal es simple y no presenta expansiones (Figura 2) .

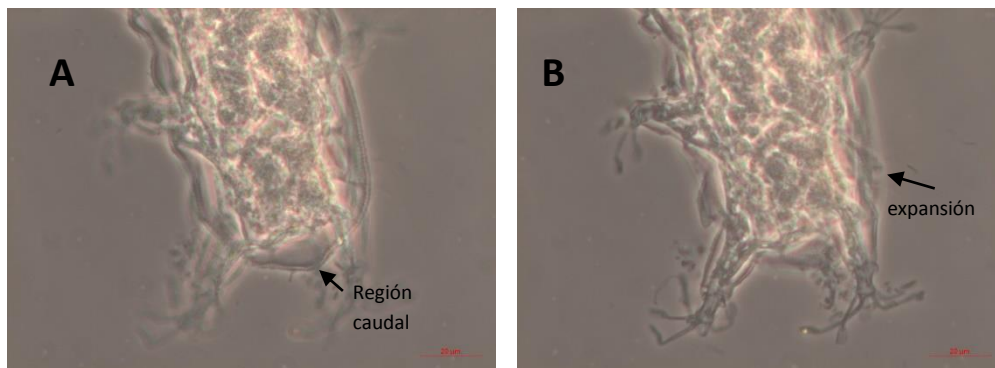


Figura 2.- *Batillipes* aff. *tubernatis* (A) Vista dorsal de la región caudal (B) Vista ventral expansión cuticular entre las patas III y IV. Línea de escala= 20µm

Familia Stygarctidae Schulz, 1951

Paratanarctus sp. nov.: Espécimen del genero *Paratanarctus*, el cual es monotípico, la única especie descrita fue encontrada en el Mar Mediterráneo. Debido a la ubicación geográfica es muy probable que sea una nueva especie.

Familia Stygarctidae Schulz, 1951

Subfamilia Megastygarctidinae Bello & de Zio Grimaldi, 1998

Megastygarctides sp. nov.: *Megastygarctides* con un par de proyecciones latero-ventrales única de los especímenes identificados, ausente en las demás especies del género.

Familia Halechiniscidae Thulin, 1928

Subfamilia Styraconyxidae Kristensen y Renaud-Mornant, 1983

Styraconyx sp. nov. (Figura 3): Especímenes similares a *Styraconyx kristenseni*, pero el arreglo de la cutícula en forma de rejilla es similar a *Styraconyx craticulus* y *Styraconyx craticuliformis*



Figura 3.- *Styraconyx* sp nov Vista dorsal, arreglo en forma de rejilla de la cutícula. Línea de escala= 20µm

Subfamilia Halechiniscinae (Thulin, 1928)

Halechiniscidae gen. et sp. nov. 1 (Figura 4): Similar a las especies del género *Dipodarctus* debido a que todos los dígitos de las patas I, II y III son de la misma longitud. Los dígitos internos de la pata IV son mucho más largos que los dígitos externos. Los órganos sensitivos son del tipo *Halechiniscus*.

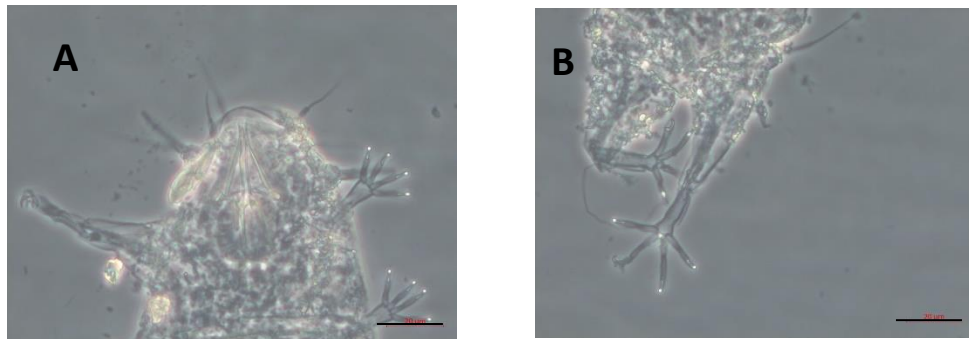


Figura 4.- Halechiniscidae gen. et sp. nov. 1 (A) Región cefálica (B) Ultimo par de patas. Línea de escala= 20µm

Halechiniscidae gen. et. sp nov .2: Tardígrados con una combinación de caracteres de los géneros *Dipodarctus* y *Halechiniscus*, presenta pedúnculos muy fuertes y expansiones laterales (Figura 5).

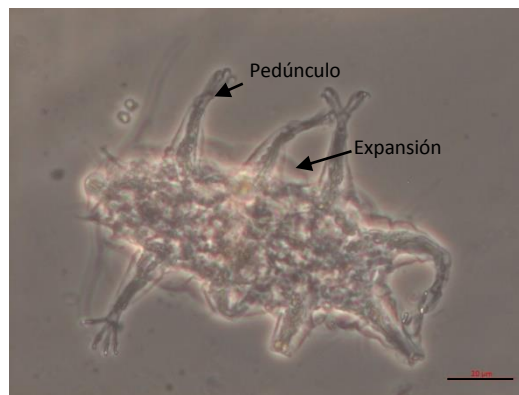


Figura 5.- Halechiniscidae gen. et. sp nov .2 Vista dorsal. Línea de escala= 20µm

Subfamilia Florarctinae Renaud-Mornant, 1983

Wingstrandarctus corallinus (Figura 6): *Wingstrandarctus* con 5 expansiones alares sin engrosamiento cuticular.

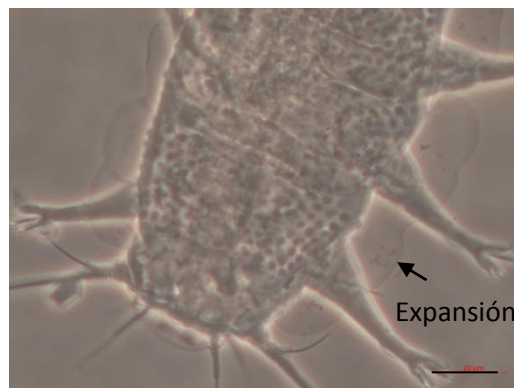


Figura 6.- *Wingstandarctus corallinus.*, Vista dorsal. Línea de escala= 20µm

Floractinae sp. nov.: Espécimen con la presencia de expansión alar pequeña similar a las expansiones del género *Wingstrandarctus* y *Florarctus*. Dígitos con pedúnculos en forma de gancho.

Subfamilia Dipodarctinae Pollock, 1995

Dipodarctus sp.: Especímenes muy parecidos a *Dipodarctus anaholiensis*, sin embargo la posición de los montajes no es la adecuada para definir la especie.

Orden Echiniscoidea

Familia Echiniscoididae

Subfamilia Echiniscoidinae

Anisonyches sp. nov.: *Anisonyches* con ganchos accesorios solo en las garras internas. Clava primaria diferente a las demás especies descritas (Figura 7).

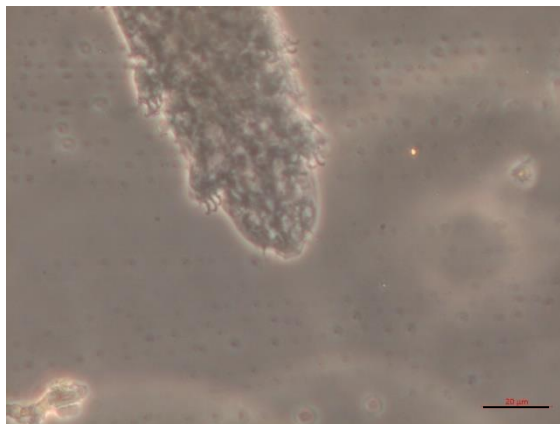


Figura 7 *Anisonyches* sp. nov, vista ventral. Línea de escala= 20μm

Echiniscoides sigismundi subsp. nov.: Similar a la subespecie de *Echiniscoides sigismundi* descrita por Pollock en 1975 (Figura 8).

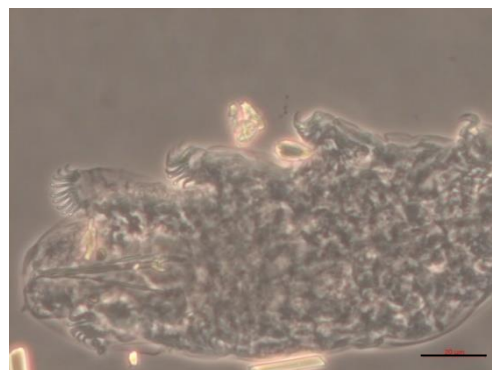


Figura 8.- *Echiniscoides sigismundi* subsp. nov, vista ventral. Línea de escala= 20μm

Clave para identificación de Familias, géneros y especies de tardígrados del Gran Caribe

1 Dígitos presentes (Figura 9 A)	12
- Dígitos ausentes (Figura 9 B)	2
2(1) Región dorsal de la cutícula con cinco placas: una placa cefálica, tres placas del cuerpo (placa segmental I, II and III), y una placa caudal (placa segmental IV) (Figura 10)..... Stygarctidae	3
-Sin placas en la región dorsal	6
3(2) Patas I-III con cuatro garras, pata IV con solo dos garras (Figura 11)..... <i>Megastygartides</i>Garras internas sin filamento accesorio; profunda indentación en la región anterior de la cabeza (Figura 11)	
..... <i>M. orbiculatus</i> McKirdy, Schmidt & McGinty-Bayly, 1976	
- Todas las patas con cuatro garras, garras internas con un lar filamento accesorio	4
4(3) Espina caudal ausente..... <i>Parastygarctus</i> Placas dorsales del tronco con un solo apéndice (Figura 12)	<i>P. sterreri</i>
Renaud-Mornant, 1970	
-Espina caudal presente	<i>Stygarctus</i>
	5
5(4) Placa dorsal II con espina no bífida.....	<i>S. bradypus</i> Schulz, 1951
-Paca dorsal II con espina bífida	<i>S. goubaultae</i> Renaud-Mornant, 1981
6(2) Cirro medio presente; patas con dos, tres o cuatro garras... CoronarctidaeTodas las patas con cuatro garras(Figura 14)	<i>Coronarctus</i>
	7
-Cirro medio ausente, patas con más de cuatro garras (6-13 garras: Figura 17).... Echiniscoididae	9
7(6) Heterometría en las garras de las patas I-III, homometría (Figura 14B) en garras de la pata IV (Figura 14A); apéndice cefálico con un escapo cargo y con forma de acordeón	<i>C. mexicus</i>
Romano III, Gallo, D'Addabbo, Accogli, Baguley y Montagna, 2011	
-Heterometría en patas I-IV (Figura 14A)	8
8(7) Cirro medio equidistante entre la apertura bucal y el borde posterior de la clava secundaria.....	<i>C. disparilis</i>
Renaud-Mornant, 1987	
- Cirro medio localizado en el borde posterior de la clava secundaria	<i>C. laubieri</i>
Renaud-Mornant, 1987	
9(6) Patas I-III con cuatro garras, Pata IV con tres garras (Figura 16).....	<i>Anisonyches</i>
	10
- Variación en el número de garras por pata varía entre patas.....	<i>Echiniscoides</i>
	11
10(9) Garras con un amplio espur divergente y dirigido hacia atrás (Figura 16).....	
.....	<i>A. eleutherensis</i> Bartels, Fontoura y Nelson 2018
- Garras con espur simple no divergente	<i>Anisonyches</i> sp. nov.

11(9) Tubo bucal y estiletes muy largos, extendiéndose más allá del primer par de patas; patas I-II con 7-9 garras, pata IV con 6-8 garras	<i>E. hoepneri</i> , Kristensen y Hallas, 1980
- Tubo bucal y estiletes cortos, no sobrepasan el límite del primer par de patas; patas con 8-10 garras.....	<i>E. sigismundi</i> subsp. nov.
12(1) 4 o 6 dígitos por pata, con discos adhesivos terminales (Figura 18A).....	<i>Batillipidae</i> <i>Batillipes</i>13
- Patas con 4 dígitos , que pueden portar garras y/o órganos adhesivos en forma de espátula	16
13 (12) Dígitos IV y II de la pata IV con la misma longitud (patrón C de Kristensen y Mackness 2000), una papila minúscula y una larga espina dorso-lateral presentes entre las patas III y IV	<i>B. friaufi</i> Rigglin, 1962
- Dígitos II y IV de la pata IV desiguales	14
14(13) Dígitos III y IV de la pata IV con longitud desigual (patrón D of Kristensen y Mackness 2000) proyección caudal ausente	<i>B. tubernatis</i> Pollock, 1971
- Dígitos II y IV de la pata IV con la misma longitud (patrón A de Kristensen y Mackness 2000); apéndice caudal simple presente	15
15 (13) Proceso lateral entre la pata III y IV bien desarrollada dos veces más grande que el cirro medio	<i>B. pennaki</i> Marcus, 1946
- Proceso entre las patas III y IV corto.....	<i>B. mirus</i>
16(12) Patas con dígitos externos e internos presentes	17
-Patas con solo dígitos internos presentes (Figura 18B).....	ArchechinidaeGarra externa insertada directamente al tarso, garras internas insertadas en dígitos..... <i>Archechiniscus</i>Cirro medio presente en forma vestigial, pliegues metaméricos dorsales presentes.....
.....	<i>A. bahamensis</i> Bartels, Fontoura y Nelson 2018
17(16) Garras usualmente multipunteados.....	Styraconyxidae 18
-Garras con una simple puntuación.....	23
18(17) Expansión epicuticular dorso-lateral presente, sostenido por pilares (5-8 µm)...	<i>Raiarctus</i> 19
-Expansión dorsolateral ausente	20
19(18) Lóbulo frontal sostenido por 14 pilares de 5-6 µm, lóbulo caudal con la misma amplitud que los lóbulos laterales (Figura 19B)	<i>R. aureolatus</i> Renaud-Mornant, 1981
- Lóbulo frontal sostenido por 23 pilares de 8 µm; lóbulo caudal más ancho que los lóbulos laterales (Figura 19A).....	<i>R. colurus</i>
20(18) Puntos accesorios presentes solo en las garras internas (Figura 18D).....	<i>Paratanarctus</i> <i>Paratanarctus</i> sp. Nov.
-Puntos accesorios en todas las garras.....	21

21(20) Garras con 3 puntos accesorios (un punto primario y dos puntos secundarios, Figura 18C)	<i>Styraconyx</i>	22
-Garras con dos puntos accesorios	<i>Angursa</i>Cuerpo esbelto, 5-6 más largo que el ancho del cuerpo, patas sin órganos sensitivos	<i>A. bicuspis bicuspis</i> Pollock, 1979
22(21) Clava primaria mide la mitad del tamaño del cirro lateral <i>S. craticulus</i> (Pollock, 1983)	
- Clava primaria menos de la mitad del tamaño que el cirro lateral.....	<i>Styraconix sp. nov.</i>	
23(17) Placas segmentarias dorsales y ventrales presentes, garras con espina accesoria.....	Renaudarctidae <i>Renaudarctus</i>con 2 pares de pacas inter-segmentarias, 4 crestas inter-segmentadas y 3 pares de finas placas ventrales (Figura 20)....	<i>R. psammocryptus</i> , Kristensen y Higgins, 1984
-Placas segmentarias ausentes, garras sin espina accesoria		24
24(23) Órgano sensitivo en la pata IV ligeramente pequeña y de formas variables (espina, ovoide, o papilla con, o sin espinas); garras con calcar miniatura.....	Halechinidae	25
- Órgano sensitivo de la pata IV bastante modificada, en forma de una papilla bifurcada, calcar fuerte.....	Tarnarctidae	34
25(24) Clava primaria y secundaria diferentes en tamaño y forma.....	<i>Euclavarctinae</i>Clava primaria dirigida hacia atrás, clava secundaria esferica..... <i>Euclavarctus</i> Clava primaria tan grande como el cirro A (Figura 21)	<i>E. thieli</i> Renaud-Mornant, 1975
-Clava primaria y secundaria similar en forma		26
26(25) Expansión aliforme (alas) sostenida por cortos pilares orientados verticalmente.....	<i>Forarctinae</i>	27
-Expansión aliforme ausente		20
27(26) Alas con expansión pro-cuticular (caectus); vesículas cefálicas ausentes.....	<i>Florarctus</i> Con cinco alas finamente punteada, dos alas laterales y una caudal ligeramente lobulada (Figura 22A)	<i>F. antillensis</i> Van der Land, 1968
-Alas sin expansión cutícula; con tres vesículas cefálicas asociadas bacteria simbiotes	<i>Wingstrandarctus</i>Cinco alas presentes, órgano sensitivo de la pata IV en forma de S (Figura 22B).....	<i>W. corallinus</i> Kristensen, 1984
28(26) Dígitos alargados con órganos sensitivos en forma de espátula		29
-Dígitos únicamente con garras.....		31
29(28) cuatro dígitos por pata con delgados órganos adhesivos.....	<i>Orzeliscus</i>	Pata IV portando una simple cerda (Figura 23C)
-cuatro dígitos por pata, los cuales pueden portar órganos adhesivos con garras proximales	<i>O. belopus</i> du Bois-Reymond Marcus, 1952	
	<i>P. orzeliscoides</i> Kristensen y Higgins, 1989	30
30(29) Todos los dígitos por pata con un órgano adhesivo proximal el cual porta una garra.....	<i>Paradoxipus</i>con una expansión entre las patas III y IV (Figura 23B).....	

- Todos los dígitos con órgano adhesivo, pero en la patas I-III, lo órganos adhesivos de los dígitos 1-3 portan garras; en la pata IV solo órganos adhesivos de los dígitos 2-3 portan garras..... *Mutaparadoxipus*.....Clava secundaria en forma de una salchicha doblada (Figura 23A)
..... *M. duodigifinis* Gross, Miller y Hochberg, 2014
- 31(28)** Dígitos similares en tamaño y forma; Calcar y pedúnculos ausentes *Halechiniscus* 32
- Dígitos con tamaño variables..... *Dipodarctinae*... Dígitos internos de la pata IV más largos que los dígitos externos *Dipodarctus* 33
- 32(31)** Apéndice caudal presente en forma de una corta espina (Figura 24B)*H. remanei* Schulz, 1955
- Apéndice caudal ausente (Figura 24A)..... *H. perfectus* Schulz, 1955
- 33(32)** pata IV porta una espina (Figura 25B)..... *D. subterraneus* (Renaud-Debyser, 1959)
- Pata IV porta una papilla (Figura 25A) *D. anaholiensis* Pollock, 1995
- 34(24)** Órgano sensitivo de la pata IV en forma diferente a una hoja y puede presentar ramificaciones *Tanarctus* 35
- Apéndice sensitivo de la para IV en forma de hoja *Zioella*..... Papila en la pata IV con forma de dos ampollas en forma de huso dicotómicas (Figura 26B).....
..... *Z. pavorina* Renaud-Mornant, 1987
- 35(34)** Órgano sensitivo de la pata IV con 6 ramificaciones membranosas en forma de raqueta originada de un tubo central (Figura 26C) *T. helleouetae* Renaud-Mornant, 1984
- Órgano sensitive no ramificado (Figura 26 A)..... *T. tauricus* Renaud-Debyser, 1959

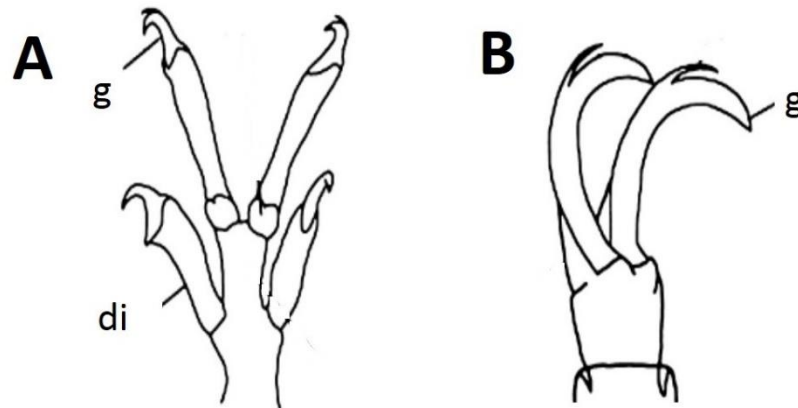


Figura 9.- (A) Patas con dígitos (B) Patas sin dígitos. **g**= garra, **di**= dígito. (Modificado de Fontoura et al. 2017).

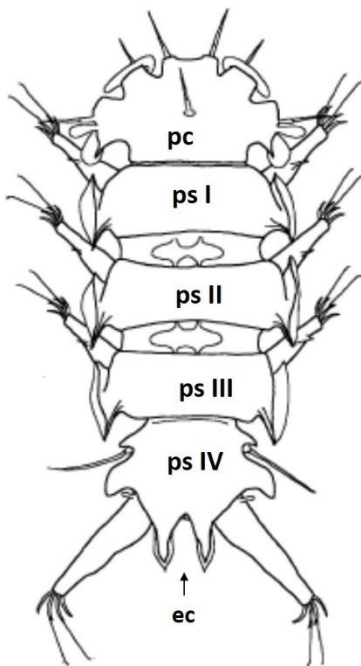


Figura 10.- Arreglo de placas de la Familia Stygarctidae. **pc**= placa cefálica, **ps I,II,III IV**= placas segmentales, **sc**= espina .

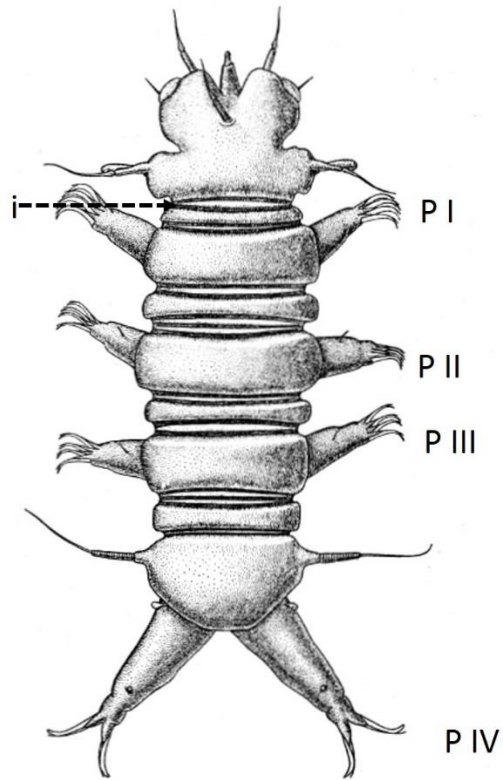


Figura 11.- *M. obirculatus* arreglo de garras de las patas I-IV. **P**= pata, **i**= indentación.

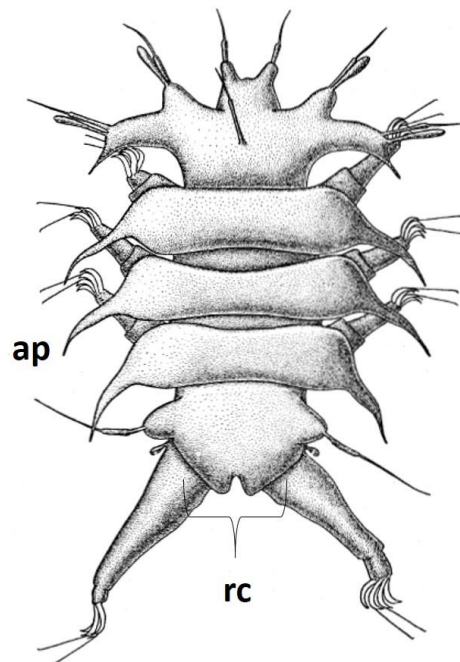


Figura 12.- Vista dorsal de *P. sterreri*. **ap**= ápice, **rc**=región caudal

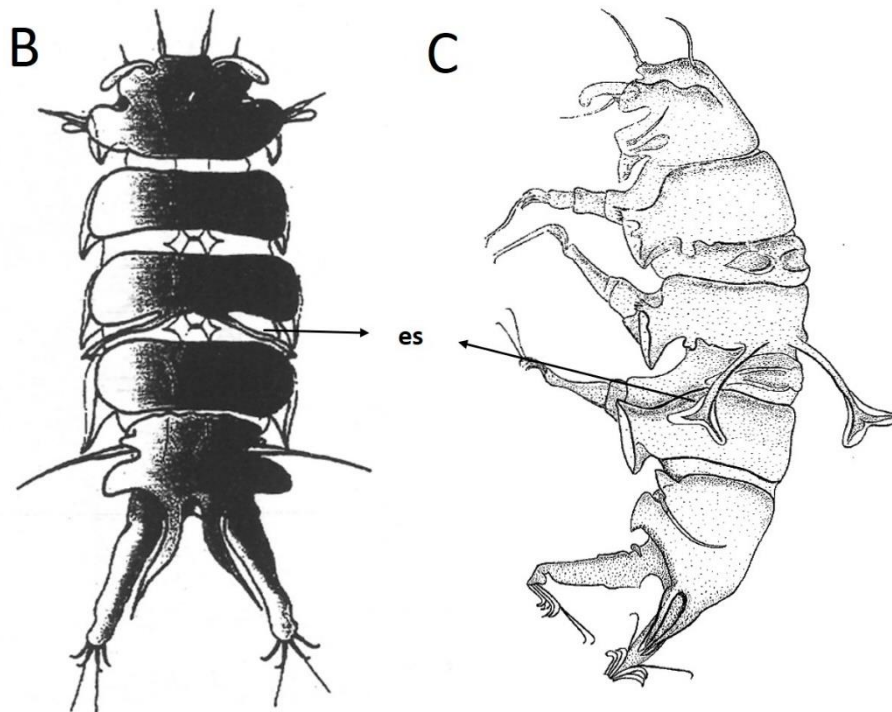


Figura 13.- (A) *S. bradypus*, vista dorsal, (B) *S. gourbaulta*, vista lateral. **es**= espina

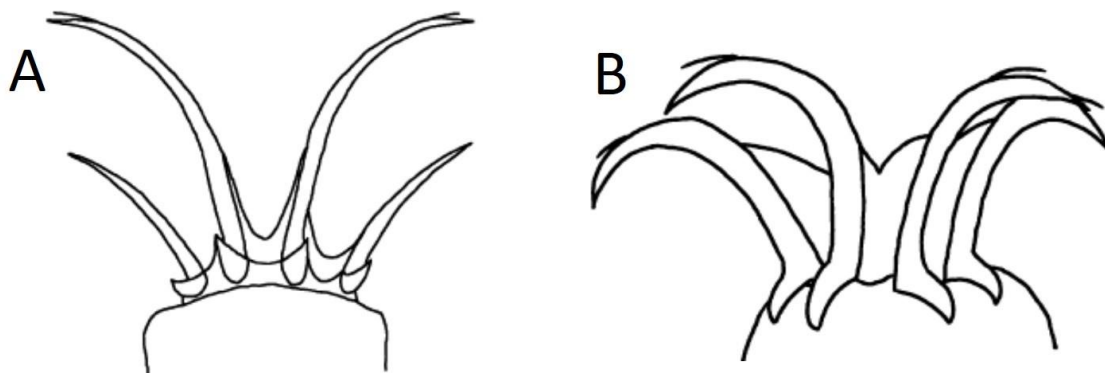


Figura 14 Arreglo de garras (A) Heterometría (B) Homometría del género *Coronarctus*.

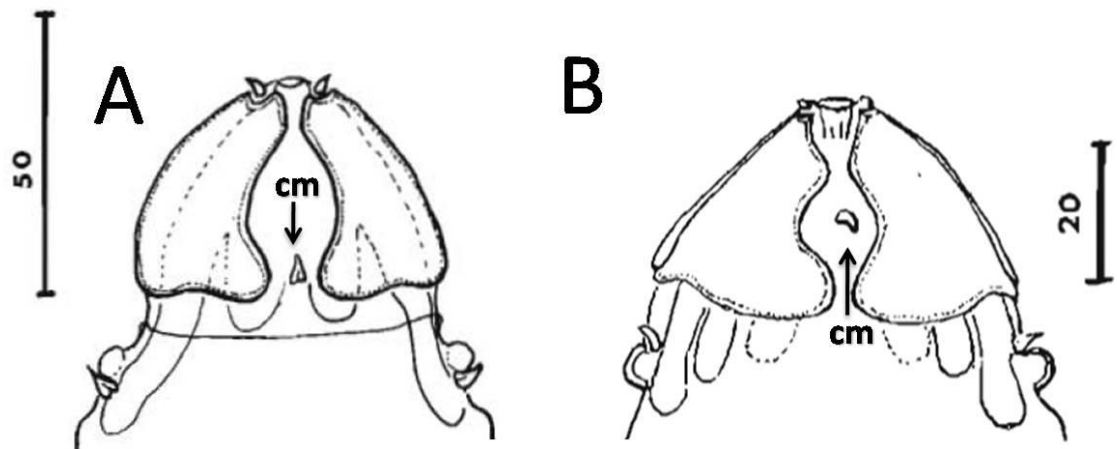


Figura 15.- Ubicación del cirro medido en (A) *C. laubieri*, (B) *C. disparilis*. **cm**= cirro medio.

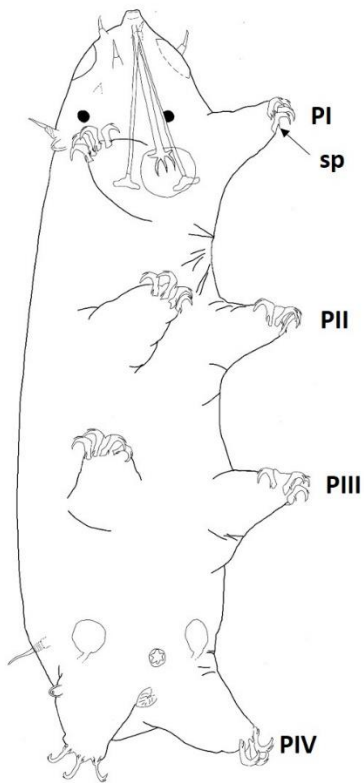


Figura 16.-A. *eleutherensis*, arreglo de garras de las Patas I-IV. **P**=pata, **sp**=espur.

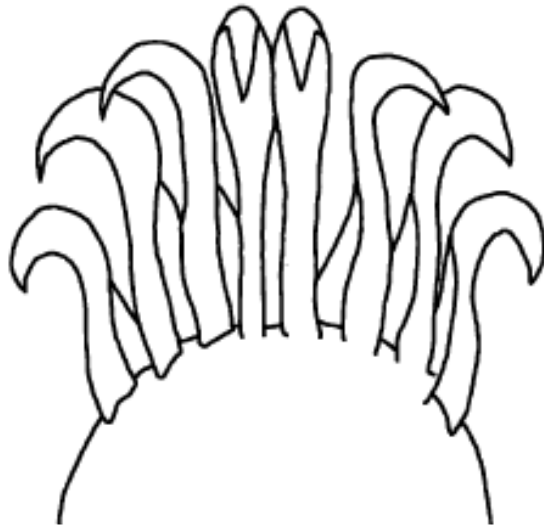


Figura 17.- Arreglo de garras en el género *Echiniscoides*. (Fontoura et al., 2017).

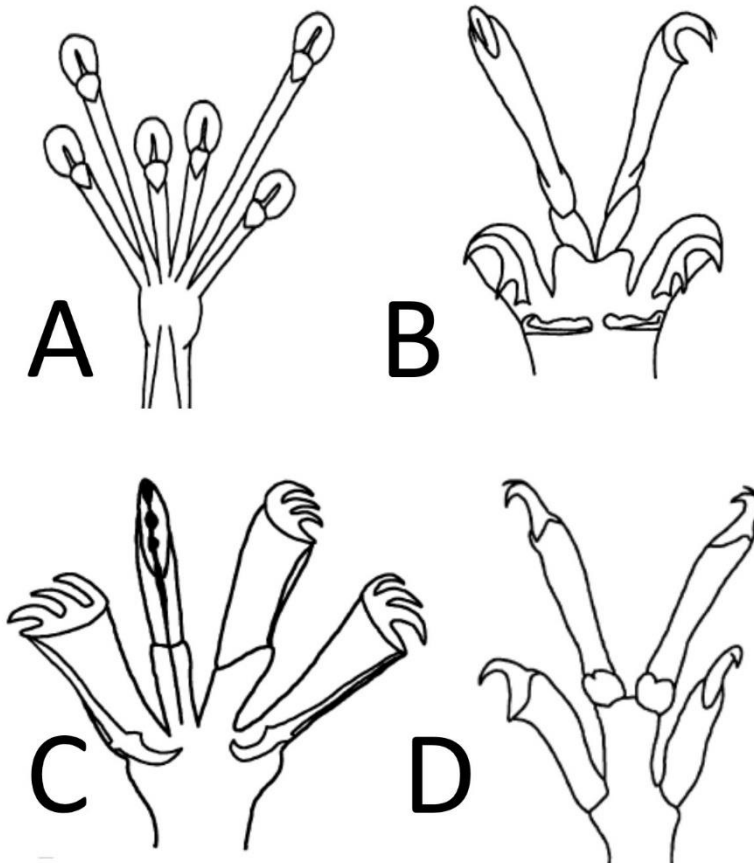


Figura 18.- Arreglo de garras de la Familia (A) Batillipidae, (B) Archechiniscidae y los géneros (C) *Styraconyx* (D) *Paratanarctus* (modificado de Fontoura et al. 2017)

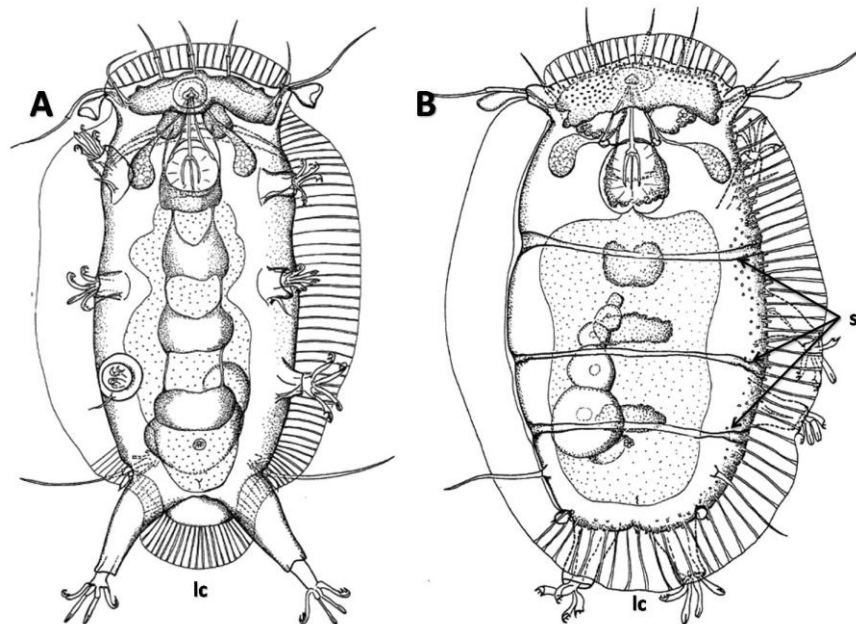


Figura 19.- (A) vista ventral de *R. colurus*, (B) vista dorsal de *R. aureolatus*. **lc.** lobulo caudal, **s.** surcos dorsales.

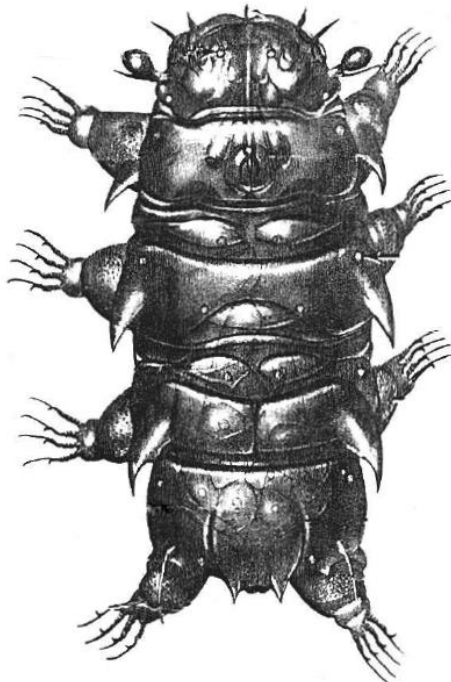


Figura 20.- Vista dorsal, arreglo de placas en *R. psammocryptus*.

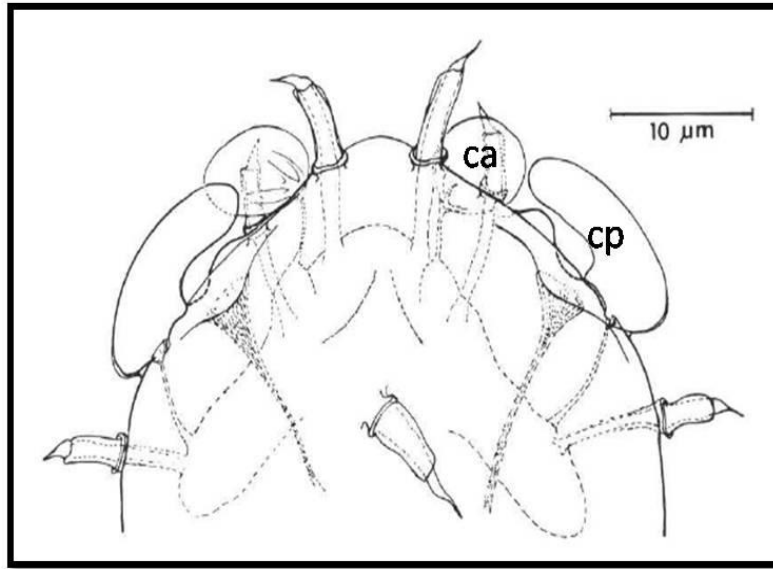


Figura 21.- Disposición de apéndices cefálicos en (A) *E. thieli* . **ca**= clava anterior, **cp**= clava posterior (modificado de Renaud-Mornant 1983.)

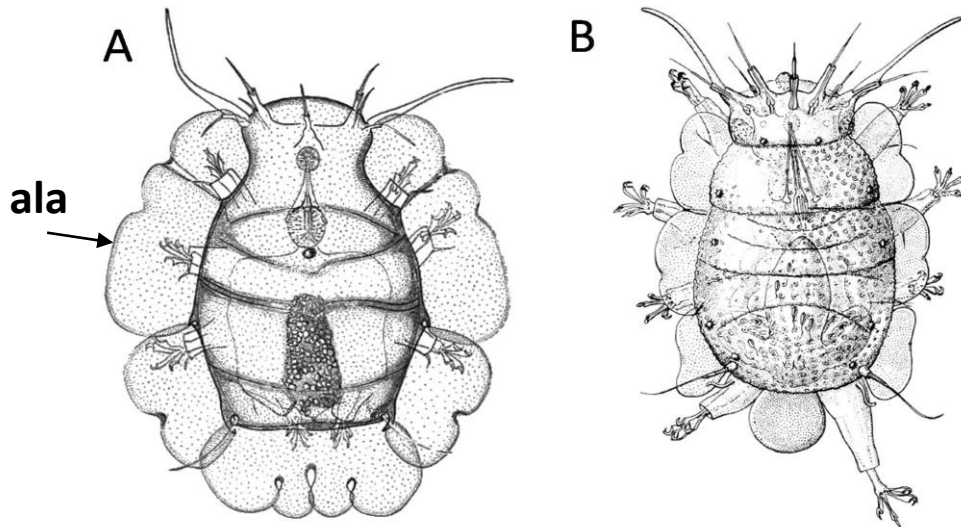


Figura 22.- Arreglo de alas en (A) *F. antillensis*, (B) *W. corallinus*.

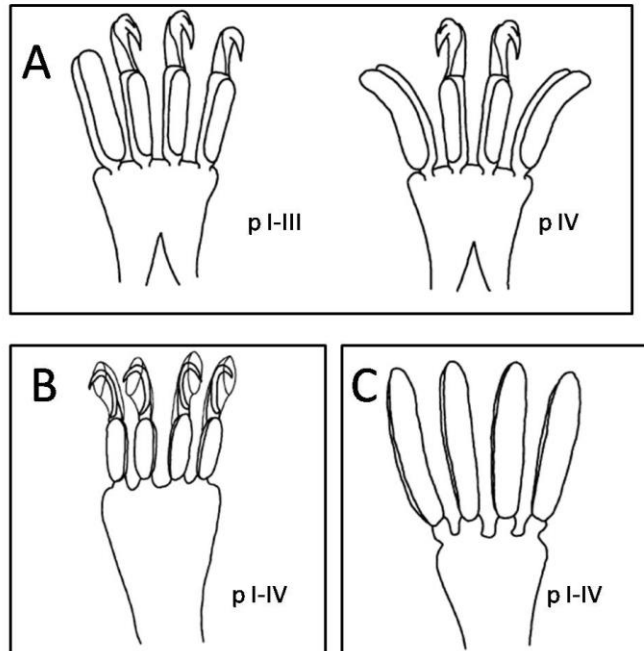


Figura 23.- Configuración de dígitos en (A) *M. duodigifinis*, (B) *P. orzeliscoides*, (C) *O. belopus*. p I-IV numeración de los pares de patas Modificado de Fontoura et al 2017.

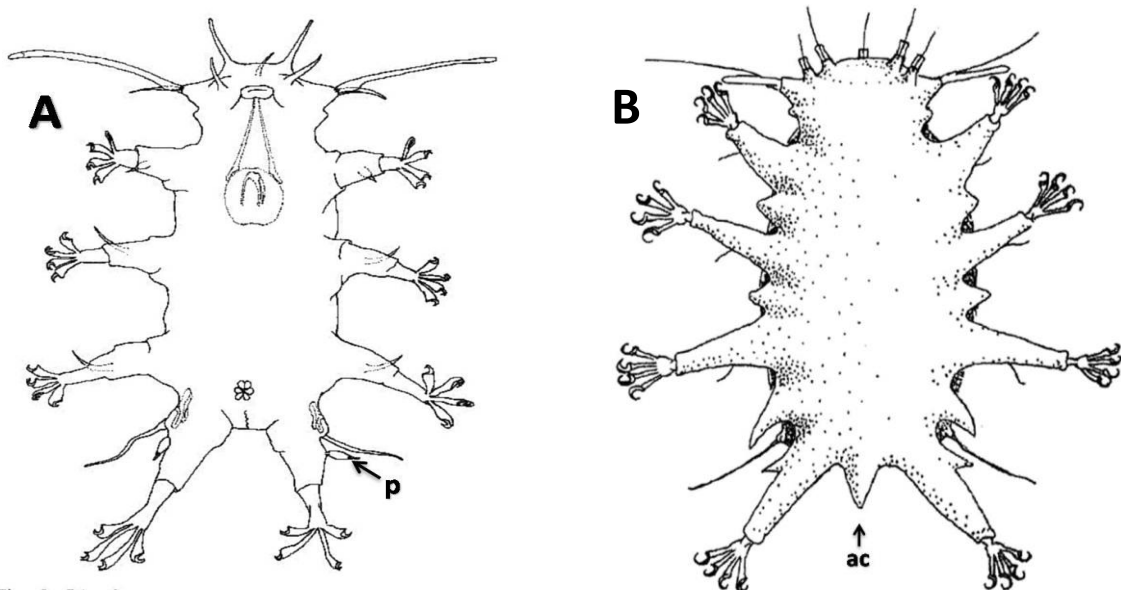


Figura 24.- (A) *H. remanei* (B) *H. perfectus*. p= papila, ac=apéndice caudal

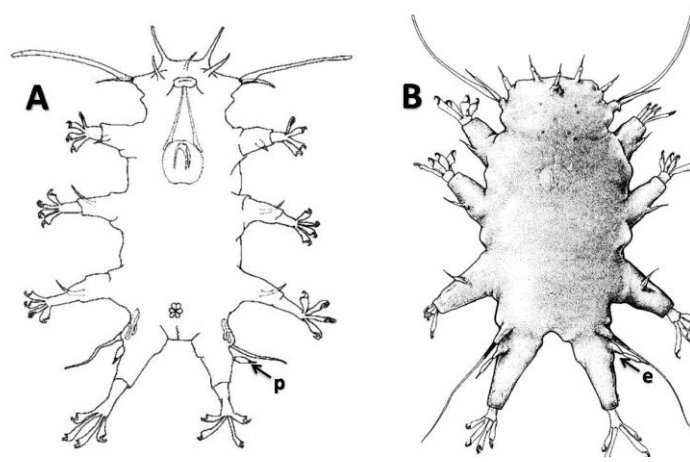


Figura 25.- (A) *D. anaholiensis* y (B) *D. subterraneus*. **p.** papila, **e.** espina

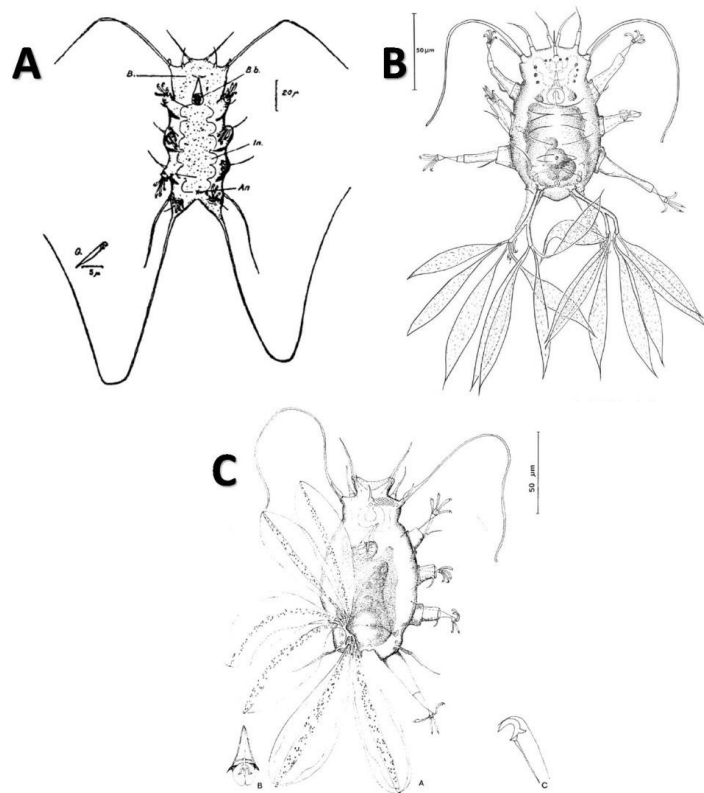


Figura 26.- (A) *T. tauricus*, (B) *Z. pavonina*, (C) *T. helleouetae*.

Conclusión

Se contribuye con la lista actual de especies para el Gran Caribe, la clave propuesta es un material útil para futuras investigaciones. Es una de las primeras referencias de este grupo y la diversidad marina en el Gran Caribe.

Literatura citada

- Bartels PJ, Apodaca JJ, Mora C, Nelson DR. 2016. A global biodiversity estimate of a poorly known taxon: phylum Tardigrada. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 178(4): 730-36
- Degma P, Bertolani R, & Guidetti R. 2009. Actual checklist of Tardigrada species. Recuperado de www.tardigrada.modena.unimo.it/miscellanea/Actual, 20.
- 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.
- Jørgensen A, Faurby S, Hansen JG, Møbjerg N, Kristensen RM. 2010. Molecular phylogeny of Arthrotardigrada (Tardigrada). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 54(3): 1006-1015.
- Kaczmarek Ł, Bartels PJ, Roszkowska M, Nelson DR. 2015. The zoogeography of marine Tardigrada. *Zootaxa*. 4037(1): 1-189.
- Miller WR, Perry ES. 2016. The coastal marine Tardigrada of the Americas. *Zootaxa*. 4126: 375-396.
- Ramazzotti G, Maucci W. 1983. Il Phylum Tardigrada. En: *Memorie del I' Istituto di Idrobiologia Dott Marco de Marci*. Vol. 41. Istituto Italiano di Idrobiologia Verbania Pallanza.

Capítulo IV. Discusión y conclusiones generales

El Gran Caribe es una de las regiones con mayor número de estudios sobre tardígrados marinos en América. Principalmente los reportes de tardígrados se ubican en costas de Estados Unidos (Chitwood, 1954; King 1962; Nichols et al., 2006; Romano III, 2009; Romano III et al., 2011), Bermudas (Kristensen and Sterrer, 1960), las Bahamas (Renaud-Debyser 1959, 1963; Pollock, 1975; Bartels et al., 2018) y las Antillas (du Bois-Reymund Marcus, 1960; Renaud-Mornant, 1984; Renaud-Mornad y Gourbault, 1984; Renaud-Mornat 1987; Pollock 1983, Renaud-Mornat 1981b, Renaud-Mornant 1987. En el Caribe Mexicano solo se contaba con el reporte los géneros *Archechiniscus*, *Batillipes*, *Echiniscoides*, *Dipodarctus* y *Wingstrandarctus* en playas de Mahahual y Xcalak, proporcionados por Pérez-Pech et al. (2018). El presente estudio es el segundo realizado para esta región. Los resultados obtenidos, incrementan la riqueza genérica para el Caribe Mexicano, además proveen el primer registro de las especies *Wingstrandarctus corallinus* y *Batillipes* aff. *tubernatis* para las playas de Mahahual, Xcalak y Puerto Morelos. Los géneros *Archechiniscus*, *Dipodarctus*, *Wingstrandarctus*, y *Batillipes* son géneros previamente reportados en estas playas. Ocho especies son nuevas para la ciencia, de las cuales dos son también nuevos géneros (*Anisonyches* sp. nov., *Megastygartides* sp. nov., *Styraconyx* sp. nov., *Paratanarctus* sp. nov., *Florarctinae* sp. nov., Halechiniscidae gen. nov. 1, Halechiniscidae gen. nov. 2, y *Echiniscoides sigismundi* subsp. nov.). El 81 % de los taxones identificados durante este estudio son nuevas especies para la ciencia y el 18 % son nuevos géneros. Algo común en estudios sobre tardígrados marinos en el Gran Caribe. Recientemente, Bartels et al., (2018) describió dos nuevas especies en las Bahamas, lo cual indica que la diversidad de tardígrados del Gran Caribe es bastante desconocida.

Los resultados de este estudio, son similares a los obtenidos por Bartels et al., (2018) en las Bahamas, donde se registraron 11 especies. Seis de las cuales pertenecen a los géneros *Dipodarctus*, *Batillipes*, *Anisonyches*, *Archechiniscus*, *Styraconyx* y *Wingstrandarctus* los cuales también se reportan en este estudio. *Wingstrandarctus corallinus* es la única especie compartida con las Bahamas. La diversidad observada en las playas de Mahahual, Xcalak, y Puerto Morelos mostró amplia relación con el tipo de grano de cada playa, tal como en otros estudios (Hansen et al., 2001 y Acclogli et al., 2011). También se documentó diversidades similares entre playas con la distribución de tipo de grano más o menos parecidas. Las playas con mayor diversidad de tardígrados fueron aquellas con dominancia de grano fino (Mahahual) y grano medio (Puerto Morelos).

El lento avance en el estudio de tardígrados en el Caribe y otras regiones marinas de América, se debe principalmente a la escasez de especialistas y a la falta de literatura para la identificación de especies (Miller y Perry 2016; Fountoura et al., 2017). Por ello, se propone la primera clave de identificación de especies, familias, y géneros de tardígrados para esta misma región. Junto a la clave de identificación propuesta por Fountoura et al. (2017), representan los pocos documentos actualizados para la identificación de tardígrados marinos.

En conclusión, el presente trabajo contribuye al conocimiento sobre tardígrados marinos en México, extiende la distribución de estos organismos en el Atlántico Tropical y se actualiza la lista de especies para el Gran Caribe.

Literatura citada

- Accogli G, Gallo M, D' addabbo R, Hansen J. 2011. Diversity and ecology of the marine tardigrades along the Apulian coast. *Journal of the Zoological Systematic and Evolutionary Research*. 49: 53-57.
- Bartels PJ, Apodaca JJ, Mora C, Nelson DR. 2016. A global biodiversity estimate 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(1): 43-40.
- Chitwood BG. 1954. Tardigrades of the Gulf of Mexico. In: *Gulf of Mexico its origin waters and Marine*. Fishery Bulletin on the Fish Wildlife Service. 55: 1-325.
- Coull BC. 1990. Are members of the meiofauna food for higher trophic levels? *Transactions of the American Microscopical Society*. 109(3): 233-246.
- Du Bois-Reymond Marcus E. 1960. Tardigrada from Curaçao, Bonaire and Los Testigos. *Studies on of Fauna Curaçao and other caribbean Island*. 45(1): 52-57
- Hansen JG, Jørgensen A, Kristensen RM. 2001. Preliminary studies of the tardigrade fauna of the Faroe Bank. *Zoologischer Anzeiger*. 240: 385-393.
- King CE. 1962. The occurrence of *Batillipes mirus* Richter (Tardigrada) in the Gulf of Mexico. *Bulletin of marine science of the Gulf and Caribbean*. 12(2): 135-140.

- Kristensen RM, Hallas TE. 1980. The tidal genus *Echiniscoides* and its variability, with erection of Echiniscoididae fam. n. (Tardigrada). *Zoologica Scripta*. 9(1-4): 113-127.
- Kristensen, RM, Sterrer WE. 1986. Phylum Tardigrada (Water bears). In: Sterrer W, Editor. *Marine fauna and flora of Bermuda: A Systematic Guide to the Identification of Marine Organisms*. John Wiley & sons, New York, 265–268.
- Marley NJ, McInnes SJ, Sands CJ. 2011. Phylum Tardigrada: A re-evaluation of the Parachela. *Zootaxa*. 2819: 51-64.
- Miller WR, Perry ES. 2016. The coastal marine Tardigrada of the Americas. *Zootaxa*. 4126: 375–396.
- Nelson DR, Guidetti R, Rebecchi L. 2010. Tardigrada. En: Thorp JH, Covich PA, editors. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. 1st ed. pp. 455-484.
- Nichols PB, Nelson DR, Garey JR. 2006. A Family Level Analysis of Tardigrade Phylogeny. *Hydrobiologia*. 558(1): 53-60.
- Pérez-Pech WA, Anguas-Escalante A, de Jesús-Navarrete A, Hansen JG. 2018. Primer registro genérico de tardígrados marinos en costas de Quintana Roo, México. *Academia Journal*. 4: 1909-1912.
- Pollock LW. 1975. Observations on marine Heterotardigrada, including a new genus from the Western Atlantic Ocean. *Cahiers de Biologie Marine*. 16(1): 121-132.
- Pollock LW. 1983. A closer look at some marine Heterotardigrada. II. The morphology and taxonomy of *Bathyechiniscus*, with a description of *B. craticulus* n. sp. from the Caribbean. *Bulletin of Marine Science*. 33: 109–117
- Renaud-Debyse J. 1959. Etudes sur la faune interstitielle des Iles Bahamas. *Vie et Milieu*. 10 (3): 296–302.
- Renaud-Debyser J. 1963. Recherches écologiques sur la faune interstitielle des sables, Bassin d'Arcachon ile de Bimini, Bahamas. *Vie et Milieu*. 15: 115–157.
- Renaud-Mornant J. 1984. Nouveaux Authrotardigrades de Antilles. *Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris*. 4: 975–988.

- Renaud-Mornant J. 1981a. *Stygarcus goubaultae* n. sp., un nouveau tardigrade marin (Arthrotardigrada) de la Guadeloupe. Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris, 3, 175–180.
- Renaud-Mornant J. 1981b. *Raiarctus colurus* n.g., n.sp., et *R. aureolatus* n. sp., tardigrades (Arthrotardigrada) marins nouveaux de sédiments calcaires. Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris, 3: 515–522.
- Renaud-Mornant J, Gorbault N. 1984. Premières prospections meiofaunistiques en Guadeloupe II: Communautés des sables littoraux. Hydrobiologia. 118: 113–118.
- Romano III FA. 2009. Tardigrada of the Gulf of Mexico. En: Felder DL, Camp DK, editors. Gulf of Mexico Origins, Waters, and Biota. Biodiversity: Texas, A & M University Press, College.
- 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*. Journal of the Zoological Systematic and Evolutionary Research. 49: 48-52.
- Spalding MD, Fox HE, Allen GR, Davison N, Ferdaña ZA, Finlayson M, Halperg BS, Jorge MA, Lombama AI, Lourie SA, et al. 2007. Marine ecoregions of the world: A bioregionalization of coastal and shelf areas. Bioscience. 57: 573.