



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**TARDÍGRADOS (HETEROTARDIGRADA:
ARTHROTARDIGRADA) DEL MAR PROFUNDO
DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA
DEL GOLFO DE MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

RUBÉN NAHÚM DELGADO REYES

DIRECTOR DE TESIS:

DR. GERARDO RIVAS LECHUGA



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DATOS DEL JURADO

Datos del alumno:

Delgado Reyes Rubén Nahúm
5545619660
ruben_nahumdr@ciencias.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
315148130

Datos del tutor:

Dr. Gerardo Rivas Lechuga

Datos del sinodal 1:

Dr. En Q. B. Francisco Armendáriz Toledano

Datos del sinodal 2:

Dra. Blanca Estela Mejía Recamier

Datos del sinodal 3:

Dr. Arturo García Gómez

Datos del sinodal 4:

Dra. Alba Rocío Dueñas Cedillo

Datos del trabajo escrito

Tardígrados (Heterotardigrada: Arthrotardigrada) del mar profundo de la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México.

64p.

2022

DEDICATORIA

A las personas más importantes de mi vida.

A mi madre *Esmeralda*, gracias por ser un pilar tan importante en mi vida y en la familia, por siempre estar para nosotros, por cuidarnos como solo una madre sabe hacerlo, por mostrarme lo que es superar las adversidades, gracias por tantos sacrificios realizados en pro de nuestro bienestar, por tu apoyo incondicional en conseguir mis metas, siempre te estaré agradecido a ti y a la vida por tenerte como mi madre, te amo.

A mi padre *Francisco*, gracias por enseñarme el valor del trabajo duro, por siempre esforzarte para darle lo mejor a la familia, por tantas enseñanzas que me han ayudado a ser quien soy, por apoyarme incondicionalmente a conseguir mis metas, por tantos sacrificios realizados por nosotros, gracias por la buena música y las buenas historias, la vida no me pudo haber dado un mejor padre.

A mi hermano *Ian*, gracias por ser mi compañero desde que tengo memoria, por todas esas aventuras y buenos momentos de nuestra infancia, por ser mi modelo a seguir y mi inspiración a seguir esforzándome. Gracias por todo lo que me enseñaste y compartiste conmigo, la música, los conciertos, los juegos y sobre todo los buenos momentos, te extraño como no imaginas, sé que siempre estás conmigo acompañándome en todo momento, no sabes cuanto agradezco que seas mi hermano y que hayas formado parte de mi vida.

A mi hermano *Etnan*, gracias por ser mi hermano, por la compañía y el apoyo, por inspirarme a ser mejor y seguir adelante, siempre estaré para cuidarte y apoyarte en lo que sea mejor para tu vida, espero que este logro te sirva de inspiración para que consigas tus sueños y metas que te propongas, siempre estaré para ti, siempre debes esforzarte y trabajar duro para conseguir lo que te propongas, nunca te rindas.

A mi abuela *Rebeca*, gracias por el apoyo y el cariño incondicional que me ha dado durante toda mi vida, por siempre procurar a la familia, gracias por los buenos momentos, las pláticas y los consejos que me ha dado para ser mejor persona, la tengo presente en todos mis logros conseguidos.

A mi prima *Ivana*, gracias por el apoyo y cariño incondicional, siempre puedes contar conmigo y siempre estaré para cuidarte y apoyarte, eres capaz de cumplir todo lo que te propongas trabajando para conseguirlo, eres capaz de muchas cosas increíbles solo no dejes de esforzarte por conseguir las.

A mi abuelo *Rubén*, gracias por haber inculcado valores tan sólidos en la familia, por siempre procurar y apoyar a la familia, por tanto trabajo y sacrificio buscando el bienestar de la familia, gracias por todo, siempre esta presente en mis logros y espero que este descansando en paz como se lo merece.

A *Carla Sofía* por tu amistad, apoyo, compañía, paciencia y amor a lo largo de estos años, gracias por apoyarme en todo momento y acompañarme en esta etapa de mi vida, siempre te voy a agradecer todo lo que has hecho por mí y los buenos momentos que hemos pasado, te deseo mucho éxito, que seas muy plena y feliz en tu vida, siempre ocuparás un lugar especial en mi persona.

A mis amigos *Raúl, Isaac, Erik, Jason y Damián* gracias por demostrarme lo que es una amistad sincera, por todo su apoyo, los buenos momentos, las pláticas, los consejos y las risas, les deseo que alcancen el mayor éxito y felicidad en sus vidas, siempre podrán contar conmigo y espero contar con ustedes muchos años más en mi vida.

A *Liz*, gracias por tu amistad y apoyo a lo largo de estos años, por las pláticas y los buenos momentos, por tu apoyo incondicional cuando más lo necesite, siempre puedes contar conmigo, espero que cumplas todas tus metas y seas muy feliz.

A *Mazapán* y la *Pituka* por ser mis amigos y mostrarme que no es necesaria ni una palabra para demostrar lo que es el amor incondicional, los quiero.

A mis amigos y colegas de la licenciatura, gracias a *Mónica, Diana, Vero, Carlos y Erick* por habernos cruzado en el camino y por formar parte de esta etapa de mi vida, por su amistad, compañía y apoyo durante estos años, por hacer más ameno este camino, mucho éxito en su futuro.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor el *Dr. Gerardo Rivas Lechuga* por su confianza y apoyo incondicional en el camino que elegí para formarme como profesional, es un privilegio poder trabajar con usted que admiro y respeto profundamente. Gracias por siempre procurar a sus alumnos y apoyarlos incondicionalmente a cumplir sus metas y sueños. ¡Muchas gracias!.

A mi colega el *M. en C. Wilbert Andrés Pérez Pech* por su invaluable apoyo durante el desarrollo de mi tesis, por mostrarme la técnica correcta de montaje de los tardígrados marinos, su apoyo y consejos para conseguir una correcta identificación y su genuino interés por desarrollar el campo de conocimiento en México.

A mi colega la *M. en C. Lucía Álvarez Castillo* por su apoyo instruyéndome en el manejo correcto del microscopio y el software utilizados para poder obtener las fotografías de los tardígrados, gracias por siempre ser accesible y estar dispuesta a ayudar.

A mis compañeros y colegas del *Laboratorio de Zoología Acuática* por ser una parte importante de mi desarrollo profesional, por las enseñanzas, la motivación, la inspiración y los consejos para ser mejores personas y profesionales.

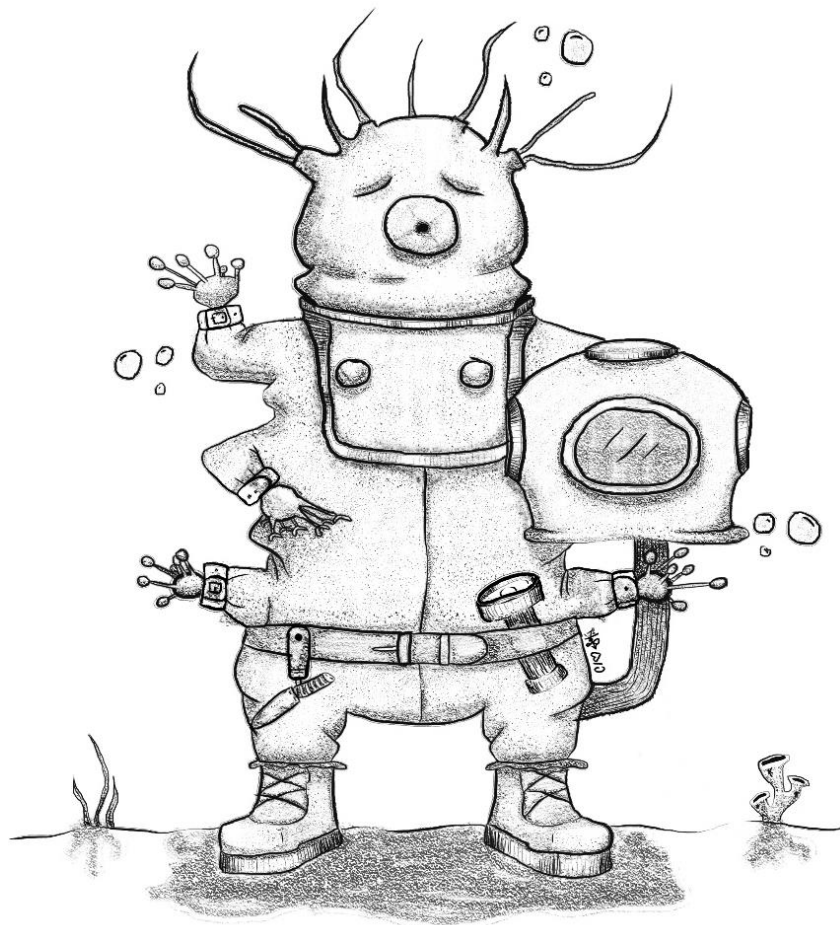
A mis sinodales que aportaron su valioso tiempo en la revisión de mi tesis, por sus oportunos comentarios y recomendaciones necesarias para mejorar mi trabajo, gracias por compartir su experiencia conmigo para desarrollar un mejor trabajo.

Al Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGoM) y a su proyecto "Implementación de redes de observaciones oceanográficas físicas, geoquímicas, ecológicas para la generación de escenarios ante posibles contingencias relacionadas a la exploración y producción de hidrocarburos en aguas profundas del Golfo de México" a partir del cual se pudieron obtener los ejemplares de tardígrados utilizados para la elaboración de esta tesis

Para Ian: te amo, hermano.

“El amor es lo único que somos
capaces de percibir que
trasciende las dimensiones
del tiempo y del espacio”

-Dra. Brand (Interstellar)



CONTENIDO

| | |
|---|----|
| Resumen | 1 |
| Introducción | 2 |
| Antecedentes | 7 |
| Objetivos | 10 |
| Área de estudio | 11 |
| Material y métodos | 13 |
| Actividades de campo | 13 |
| Actividades de laboratorio..... | 13 |
| Actividades de gabinete | 14 |
| Análisis estadístico | 15 |
| Resultados | 15 |
| Descripciones taxonómicas | 17 |
| Clave de identificación taxonómica para los tardígrados del Golfo de México | 30 |
| Distribución batimétrica..... | 41 |
| Discusión | 46 |
| Conclusiones | 49 |
| Referencias | 50 |

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de la anatomía interna de un tardígrado; vista lateral (arriba) y vista dorsal (abajo). Modificada de Coleman *et al.*, 2004).

Figura 2. Mapa de las estaciones de colecta de los ejemplares en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México.

Figura 3. *Euclavarctus* sp. A. Vista general del cuerpo; B. Clava primaria y secundaria; C. Cirro lateral; D. Cirro E y órgano sensorial del lobópodo IV; E. Garras del lobópodo I; D. Garras del lobópodo IV. Abreviaturas. cE: cirro E, cl: cirro lateral, cp: clava primaria, cs: clava secundaria, di: dígito, ga: garra, os4: órgano sensorial del lobópodo IV, ta: tarso.

Figura 4. *Coronarctus* sp. A. Vista general del cuerpo; B. Clava primaria; C. Clava secundaria y cirros internos; D. Cirros externos; E. Garras del lobópodo I; D. Garras del lobópodo IV. Abreviaturas. ce: cirro externo, ci: cirro interno; cp: clava primaria, cs: clava secundaria, ga: garras.

Figura 5. *Angursa* sp. A. Vista general del cuerpo; B. Clava primaria con forma lanceolada; C. Clava primaria con forma ovoide, clava secundaria y cirros laterales; D. Cirros internos; E. Cirros externos; D. Garras de los lobópodos III y IV. Abreviaturas. ce: cirro externo, ci: cirro interno, cp: clava primaria, cs: clava secundaria, di: dígito, pp: punta primaria, ps: punta secundaria, ta: tarso.

Figura 6. *Tholoarctus* sp. A. Vista general del cuerpo; B. Epicutícula; C. Clava primaria y secundaria; D. Cirro lateral e interno; E. Cirros externos; F. Garras del lobópodo IV. Abreviaturas. ce: cirro externo, ci: cirro interno; cp: clava primaria, cs: clava secundaria, di: dígito, eb: epicutícula en forma de barril, ga: garras, ta: tarso.

Figura 7. Garra doble con rama principal y secundaria. Modificada de Bringemer y Hohberg, 2017.

Figura 8. Macroplacoides presentes en la faringe. Modificada de Abe y Takeda, 2000.

Figura 9. Unión del gonoducto y recto en la cloaca. Modificada de Trygvadóttir y Kristensen, 2011.

Figura 10. Subdivisión del lobópodo (coxa, fémur, tibia y tarso). Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 11. Placoides indivisos presentes en la faringe. Modificado de Nelson *et al.*, 2010.

Figura 12. Separación entre el gonoporo y el ano. Modificada de Fujimoto y Hansen, 2019.

Figura 13. Garras insertadas directamente en el lobópodo (sin dígitos). Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 14. Lobópodos con dígitos. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 15. Garras insertadas en papilas (sin dígitos). Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 16. Cuatro garras en cada lobópodo. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 17. Ausencia de placas dorsales y ventrales. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 18. Dígitos con discos de succión. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 19. Pedúnculo que se extiende del tarso hacia los dígitos. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 20. Clava primaria con forma ovoide. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 21. Clava primaria con forma lanceolada. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 22. Epicutícula con forma de barril encerrando el cuerpo. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 23. Garras con tres puntas. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 24. Dígitos con almohadillas adhesivas y garras. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 25. Garras de una sola punta. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 26. Clava primaria y cirro lateral insertados por separado; clava secundaria esférica. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 27. Garras con tres puntas. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 28. Cuerpo cilíndrico no aplanado. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 29. Garras con dos puntas divergentes. Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 30. Cuerpo delgado y alargado. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 31. Apéndices cefálicos de *Euclavarctus*. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 32. Apéndices cefálicos de *Proclavarctus*. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Figura 33. Representación de la distribución batimétrica conocida para los géneros de tardígrados identificados, así como la distribución aportada.

Figura 34. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis realizada en RStudio 3.5.1.

Figura 35. Grafica de caja elaborada en RStudio 3.5.1 de los intervalos de distribución batimétrica de *Angursa*, *Coronarctus* y *Euclavarctus*.

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica riqueza y hábitats del phylum Tardígrada.

Cuadro 2. Especies de tardígrados marinos registrados en México.

Cuadro 3. Muestras obtenidas durante la campaña oceanográfica XIXIMI-7.

Cuadro 4. Intervalos de distribución batimétrica de los géneros identificados.

RESUMEN

El conocimiento sobre la diversidad, la ecología y la distribución de los tardígrados marinos aún es limitado, en México al igual que en otros países, no se ha podido desarrollar de forma eficaz una línea de investigación para su estudio. Particularmente para el Golfo de México, la literatura acerca de los tardígrados es sumamente escasa, en su mayoría se refiere a taxones del área intermareal y sublitoral. El presente trabajo pretende aportar nueva información y registros acerca de taxones de tardígrados de mar profundo en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México, a partir de ejemplares recuperados de muestras de sedimento de profundidades entre 1,182 y 3,739 m. Los ejemplares obtenidos fueron montados y fotografiados. Se lograron identificar cuatro géneros distintos: *Euclavarctus*, *Angursa*, *Coronarctus* y *Tholoarctus*, correspondientes a tres familias distintas dentro del orden Arthrotardigrada. Además, se proveé una clave de identificación ilustrada y se incluyó una breve descripción de la distribución batimétrica, así como la elaboración de un análisis estadístico (H de Kruskal-Wallis) para comprobar si existía una diferencia estadísticamente significativa entre los intervalos de distribución de los taxones. El ejemplar identificado como *Tholoarctus* sp. se propone como nuevo registro del género para el Golfo de México, los géneros *Euclavarctus* y *Angursa* se registran por primera vez en el territorio mexicano (Zona Económica Exclusiva del Golfo de México).

INTRODUCCIÓN

Los tardígrados son un phylum de animales microscópicos, con un intervalo de longitud corporal de 50-1200 μm (Fontoura *et al.*, 2017), son organismos hidrófilos (pues requieren de una película de agua para estar activos) por lo que viven en una gran variedad de ambientes húmedos o acuáticos, en ecosistemas terrestres, de aguas continentales y marinos (León, 2018; Pérez-Pech *et al.*, 2018; Pérez-Pech, *et al.*, 2020b). Fueron observados por primera vez en 1773 por Johann August Ephraim Goeze, naturalista alemán, quien los nombró “Kleiner Wasser Bär” (pequeño osito de agua) en alusión a su apariencia similar a la de un oso ya que observó que todos sus lobópodos presentaban garras, en 1776 Lazzaro Spallanzani describió el movimiento lento del animal, parecido al de una tortuga por lo que introdujo el nombre “*il Tardigrado*” (el tardígrado), referencia a que es “de paso lento”, a partir de ese momento a estos animales se les conoce comúnmente como tardígrados u ositos de agua (Nelson *et al.*, 2010; Pérez-Pech *et al.*, 2020b).

Son metazoos de simetría bilateral, celomados, su cuerpo es generalmente convexo en la parte dorsal y aplanado en la parte ventral, dividido en cinco segmentos, el primero corresponde a la cabeza (cefálico), tres segmentos de tronco, cada uno con un par de lobpodos y un segmento caudal con un cuarto par de lobópodos dirigido hacia atrás. Los cuatro pares de lobópodos suelen terminar en garras las cuales surgen directamente del lobópodo o dedos que pueden terminar en uñas o en estructuras adhesivas. Poseen un aparato faríngeo complejo que utilizan para alimentarse de bacterias, algas, plantas e invertebrados pequeños tales como nemátodos, rotíferos, o incluso otros tardígrados (Fig. 1) (Fontoura *et al.*, 2017; Nelson *et al.*, 2010).

Pertencen al clado Ecdisozoa y están relacionados con los artrópodos y los onicóforos. El Phylum está dividido en tres clases: Heterotardigrada, Eutardigrada y Mesotardigrada, la cual incluye una sola especie: *Thermozodium esakii* cuyo material tipo fue destruido en un terremoto y los esfuerzos por encontrar la especie no ha tenido éxito por lo que puede ser considerada como *nomen dubium* (Cuadro 1) (Degma *et al.*, 2022; Fontoura *et al.*, 2017; Nelson *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica riqueza y hábitats del phylum Tardigrada (Degma *et al.*, 2022; León, 2018; Nelson *et al.*, 2015).

1. Clase Heterotardigrada: se les conoce como tardígrados “armados”, debido a la presencia de placas cuticulares, un par de apéndices cefálicos sensoriales, garras complejas y/o discos succionadores, tanto la apariencia como la forma general del cuerpo varían de una forma muy amplia. En su gran mayoría son formas exclusivamente marinas, aunque presenta unas cuantas limnoterrestres.

- Orden Arthrotardigrada: 11 familias, 48 géneros y 222 especies, todos marinos, excepto una especie (*Styraconyx hallasi*) presente en manantiales de Groenlandia
 - Familia Anisonychidae (1 género, 4 especies)
 - Familia Archechiniscidae (1 género, 6 especies)
 - Familia Batillipedidae (1 género, 37 especies)
 - Familia Coronarctidae (2 géneros, 10 especies)
 - Familia Halechiniscidae (18 géneros, 61 especies)
 - Familia Neoarctidae (1 género, 1 especie)
 - Familia Neostygarctidae (1 género, 4 especies)
 - Familia Renaudarctidae (2 géneros, 3 especies)
 - Familia Stygarctidae (8 géneros, 33 especies)
 - Familia Styraconyxidae (10 géneros, 42 especies)
 - Familia Tanarctidae (3 géneros, 21 especies)
- Orden Echiniscoidea: 4 familias, 27 géneros y 325 especies
 - Familia Echiniscoididae (3 géneros, 21 especies, todos marinos)
 - Familia Carphanidae (1 género, 1 especie, de agua continental)
 - Familia Oreellidae (1 género, 3 especies, limnoterrestres)
 - Familia Echiniscidae (22 géneros, 300 especies, principalmente limnoterrestres)

2. Clase Mesotardigrada: la única especie (*Thermozodium esakii*) fue encontrada en una fuente termal japonesa (agua continental), el material tipo fue destruido por un terremoto y los esfuerzos por encontrar la especie no ha tenido éxito por lo que es considerada como *nomen dubium*.

3. Clase Eutardigrada: son los llamados tardígrados “desnudos”, ya que su cutícula es lisa o con presencia de poros, granulaciones, retículos, tubérculos, espinas o papila, las variaciones corporales son más limitadas en contraste con los heterotardígrados. Formada principalmente por especies limnoterrestres aunque algunas se han encontrado en aguas marinas o salobres.

- Orden Apochela: 1 familia, 4 géneros y 50 especies
Familia Milnesiidae (4 géneros, 42 especies, principalmente limnoterrestres aunque algunas de aguas continentales y una especie fósil)
- Orden Parachela: 10 familias, 56 géneros y 721 especies
Familia Necopinatidae (1 género, 1 especie, limnoterrestre)
Incertae Sedis (i.e., relación incierta; 1 género y 4 especies, limnoterrestres)

Superfamilia Macrobiotioidea

- Familia Macrobiotidae (14 géneros, 267 especies, limnoterrestres y de aguas continentales)
- Familia Murrayidae (3 géneros, 26 especies, limnoterrestres y de aguas continentales)

Superfamilia Eohypsibioidea

- Familia Eohypsibiidae (3 géneros, 12 especies, limnoterrestres y de aguas continentales)

Superfamilia Hypsibioidea

- Familia Hypsibiidae (13 géneros, 165 especies, limnoterrestres y de aguas continentales)
- Familia Microhypsibiidae (2 géneros, 5 especies, limnoterrestres y de aguas continentales)
- Familia Calohypsibiidae (1 género, 5 especies, limnoterrestres)
- Familia Ramazzottiidae (4 géneros, 36 especies, limnoterrestres)

Superfamilia Isohypsibioidea

- Familia Isohypsibiidae (13 géneros, 199 especies, limnoterrestres, de aguas continentales y algunos marinos)
 - Familia Beornidae (Una especie fósil, *Beorn leggi*)
-

Por lo general, los tardígrados son translúcidos o blanquecinos (opacos) pero hay especies que exhiben color en el intestino, en las células de almacenamiento, la epidermis y/o la cutícula. El tracto digestivo es completo con tres regiones, intestino anterior, intestino medio e intestino posterior que termina en una cloaca (Eutardigrada) o en un ano (Heterotardigrada). La cavidad corporal presenta funciones circulatorias y para el intercambio gaseoso, además de contener células de almacenamiento. La musculatura consiste en músculos somáticos, faríngeos, estiletes y viscerales (no se presentan músculos circulares). La excreción y la osmorregulación se asocian con la cutícula o con los túbulos de Malpighi. El sistema nervioso consiste en un cerebro dorsal lobulado y una cadena nerviosa ventral con cuatro ganglios bilobulados (uno por cada segmento asociado a los lobópodos), pueden presentar manchas oculares (fotorreceptores) además de otros órganos sensoriales cefálicos externos (Eutardigrada) o receptores debajo de la cutícula cefálica (Heterotardigrada). En hembras y en especies hermafroditas se presenta una sola gónada dorsocaudal y un solo gonoducto, mientras que en machos hay dos, los cuales en los eutardígrados terminan internamente en el recto, y en los heterotardígrados externamente en un gonoporo (Fig. 1) (Nelson *et al.*, 2010).

Los tardígrados marinos son bénticos, habitan sobre vegetación suspendida formando parte de la meiofauna intersticial en una variedad amplia de sedimentos, se encuentran en todos los océanos del mundo desde la zona intermareal hasta profundidades abisales (a más de 5,000 m de profundidad). Se ha encontrado que son más diversos en playas arenosas con poca materia orgánica por lo que se han propuesto como bioindicadores (Fontoura *et al.*, 2017). Particularmente, los heterotardígrados habitan sustratos desde arenas de cuarzo/coralina hasta lodos de aguas profundas o sedimentos abisales de Globigerina blanca. Los artrotardígrados se encuentran en ambientes más particulares como cuevas marinas y en profundidades asociados a nódulos de manganeso (Hansen y Kristensen, 2020). En general, los tardígrados marinos son un grupo poco estudiado posiblemente por su tamaño microscópico, el cual tiende a ser mucho menor que en los grupos terrestres, así como también por sus bajas abundancias, lo cual se refleja, en que la investigación enfocada a el conocimiento sobre su diversidad, ecología y distribución geográfica es limitada en comparación con sus parientes terrestres (Pérez-Pech *et al.*, 2018).

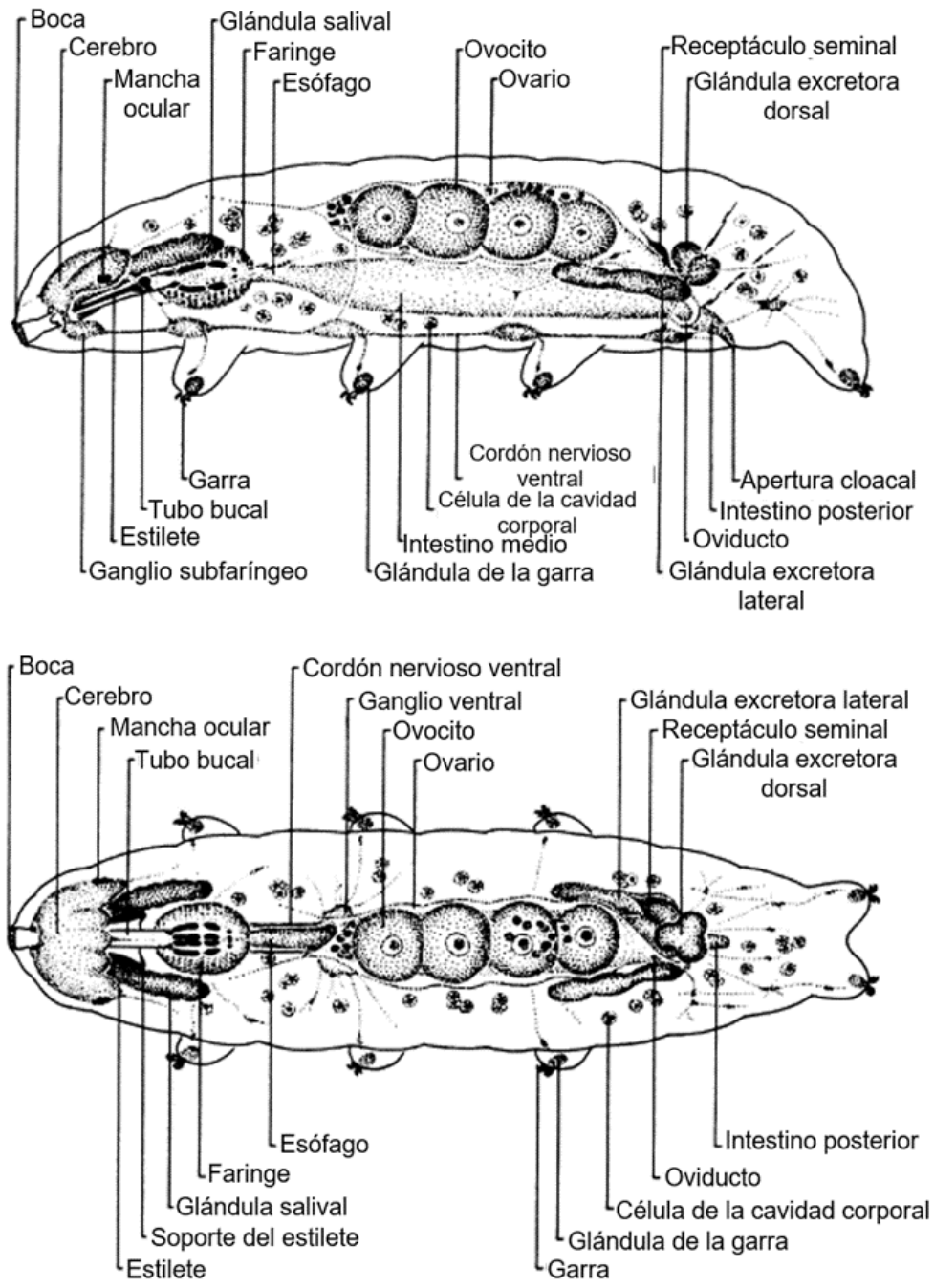


Figura 1. Esquema general de la anatomía interna de un tardígrado; vista lateral (arriba) y vista dorsal (abajo). Modificada de Coleman *et al.*, 2004.

ANTECEDENTES

A nivel mundial se conocen 1,406 especies de tardígrados (Degma *et al.*, 2022) de los cuales la gran mayoría son especies terrestres contando con alrededor de 1,008 especies (Bartels *et al.*, 2016), por su parte los tardígrados marinos cuentan con 207 especies que representan tan solo el 16% de toda la diversidad conocida del grupo (Fontoura *et al.*, 2017) y los de aguas continentales con tan solo 62 especies (Garey *et al.*, 2008).

En México los tardígrados son un taxón poco estudiado, sólo se tienen cerca de 20 trabajos publicados desde sus primeros registros en el año 1911. Para el territorio mexicano se cuenta con más de 474 registros para 16 estados de la república, más de 70 son a nivel de especie (17 consideradas dudosas debido a inconsistencias en su identificación), en su mayoría habitantes de musgos limnoterrestres y en menor medida marinos. En lo que respecta a tardígrados marinos, a la fecha se tienen registro de 15 taxones, aunque sólo 7 de éstos se han logrado describir a nivel de especie (Cuadro 2) (García *et al.*, 2022; Pérez-Pech *et al.*, 2020b).

La poca atención que reciben los tardígrados marinos en su estudio posiblemente se debe a la ausencia de un método especializado para su colecta y procesamiento, esto dificulta el desarrollo de una línea de investigación dirigida a tardígrados marinos en México y en muchos otros países (Pérez-Pech *et al.*, 2018). Dicha ausencia se refleja en la escasa literatura al respecto, en el caso de la recolecta, la cual es prácticamente la misma que se utiliza de forma general para la meiofauna que posee cutícula, se han estandarizado algunas técnicas para estandarizar su recolecta, separación y montaje, las cuales han sido aplicadas por Anguas-Escalante *et al.* (2020), Fujimoto y Jimi (2020), Hansen y Kristensen (2020) y Pérez-Pech *et al.* (2018).

Cuadro 2. Especies de tardígrados marinos registrados en México.

1. ***Archechiniscus bahamensis*** Bartels, Fontoura & Nelson, 2018

Localidad tipo: Freetown, sur de la isla Eleuthera, Bahamas (24°45.422' LN, 76°17.877' LW), 18 m de profundidad (Bartels *et al.*, 2018). Registros en México: Puerto Morelos, Quintana Roo (20°51' LN, 86°52' LW) y Xcalak, Quintana Roo (18°21' LN, 87°48' LW), 0.2-6 m de profundidad (Pérez-Pech *et al.*, 2020a)

2. ***Coronarctus mexicus*** Romano III, Gallo, D'Addabbo, Accogli, Baguley & Montagna, 2011

Localidad tipo: Norte del Golfo de México (27°07'LN, 92°20'W), 625-3150 m de profundidad (Romano III *et al.*, 2011). Registro en México: México, Golfo de México (25°37.97'LN, 95°25.86' W), 1847 m de profundidad (Pérez-Pech *et al.*, 2020a).

3. ***Dipodarctus cf. subterraneus*** Renaud-Debyser, 1959

Localidad tipo: Isla Bimini, Bahamas (25°43' LN, 79°18' LW), al nivel del mar. Registro en México: Mahahual (18°43'N, 87°42'W) y Puerto Morelos, (20°51' LN, 86°52' LW) Quintana Roo, 0.2-6 m de profundidad (Pérez-Pech *et al.*, 2020a)

4. ***Florarctus yucatanensis*** Anguas-Escalante, Navarrete, Demilio, Pérez-Pech & Hansen, 2020

Localidad tipo y único registro: Xcalak, Quintana Roo, México (18°17'24"LN, 87°49'59"W), 5 m de profundidad (Anguas-Escalante *et al.*, 2020).

5. ***Halechiniscus cf. perfectus*** Schulz, 1955

Localidad tipo: Banylus, Región Languedoc Roussillon, Francia (42°29'LN, 03°08'LE), al nivel del mar. Registros en México: Mahahual, Quintana Roo (18°43'N, 87°42'W), 0.2-6 m de profundidad (Pérez-Pech *et al.*, 2020a).

6. ***Styraconyx robertoi*** Pérez-Pech, Navarrete, Demilio, Anguas-Escalante & Hansen, 2020

Localidad tipo y único registro: Xcalak, Quintana Roo, México (18°17'24"LN, 87°49'59"LW), 0.2-1.0 m de profundidad (Pérez-Pech *et al.*, 2020a).

7. ***Wingstrandarctus corallinus*** Kristensen, 1984

Localidad tipo: Isla de un solo árbol, Australia (23°30'S, 152°06'LE), 2 m de profundidad. Registros en México: Mahahual (18°43'LN, 87°42'LW) y Puerto Morelos (20°51' LN, 86°52' LW), Quintana Roo, 0.2-6 m de profundidad (Pérez-Pech *et al.*, 2020a).

Actualmente se desarrollan investigaciones de la fauna mexicana de Tardigrada en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, en la Universidad Autónoma de Nuevo León y en la Unidad Chetumal de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) siendo esta última institución donde se trabajan especies marinas (ver Anguas-Escalante *et al.* (2020) y Pérez-Pech *et al.* (2018 y 2020a)) enfocándose en estudiar la fauna de tardígrados de las costas de la península de Yucatán y recientemente de mar profundo (ver Pérez-Pech *et al.* (2020c)), en el escarpe del Perdido frente a las costas de Tamaulipas. Sin embargo, se requiere más énfasis en el estudio de los tardígrados marinos, ya que aún son desconocidos tanto a nivel mundial y en mayor medida en nuestro país (Pérez-Pech *et al.*, 2020b). Este desconocimiento se refleja en los escasos 11 registros a nivel genérico (*Anisonyches*, *Archechiniscus*, *Batillipes*, *Coronarctus*, *Dipodarctus*, *Florarctus*, *Halechiniscus*, *Wingstrandarctus*, *Megastygarctides*, *Paratanarctus* y *Styraconyx*) que se tienen en nuestro país, estos registros solamente pertenecen a dos de las ocho ecorregiones marinas y a una de las catorce provincias biogeográficas. Solo un género (*Coronarctus*) está registrado para el norte del Golfo de México, los registros restantes se reparten entre el Mar Caribe y la costa de Yucatán, por lo que seis ecorregiones marinas aún permanecen sin ser exploradas (García *et al.*, 2022).

En 2015 fue fundado el Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGoM) y desarrollando el proyecto multidisciplinario "Implementación de redes de

observaciones oceanográficas físicas, geoquímicas, ecológicas para la generación de escenarios ante posibles contingencias relacionadas a la exploración y producción de hidrocarburos en aguas profundas del Golfo de México”. Gracias a este proyecto fue posible obtener muestras de mar profundo en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México y de éstas la separación de meiofauna, incluyendo ejemplares de Tardígrada. En este sentido y con base en lo expuesto sobre el déficit de conocimiento sobre tardígrados marinos en México se desarrolló el presente trabajo de tesis, enfocándose en una identificación y descripción a nivel de género.

OBJETIVOS

- Determinar la composición taxonómica de los tardígrados de mar profundo de la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México.
- Analizar la distribución batimétrica de los taxones de Tardígrada dentro del área de estudio.
- Contribuir al conocimiento de la biodiversidad marina de taxones poco estudiados y de áreas geográficas escasamente trabajadas en México.

ÁREA DE ESTUDIO

La Zona Económica Exclusiva de México es la franja de mar contigua al mar territorial, que se extiende hasta 370.4 km (200 millas náuticas) contados desde la línea de costa continental e insular. En dicha zona México tiene los mismos derechos que en su mar territorial, pero permite la libre circulación de embarcaciones extranjeras y la instalación de diversas vías (oleoductos marinos o diversos tipos de cableado) (INEGI). La conformación de la ZEE de México se relaciona principalmente con fines económicos, no está delimitada por una barrera física, por lo tanto no necesariamente debiera entenderse como un límite biogeográfico. Por otra parte, dado que la toma de decisiones en el manejo y conservación de la biodiversidad es gubernamental, se justifica la delimitación de la presente área de estudio.

El Golfo de México es un mar marginal interior parcialmente conectado con el océano Atlántico, está limitado por territorio estadounidense (cinco estados) en la parte norte y este, territorio mexicano (cinco estados) en el lado sur y oeste, y territorio cubano en el sureste, es el noveno cuerpo más grande de agua en el planeta conteniendo 2,434,000 kilómetros cúbicos de agua y un área de 1,600,000 kilómetros cuadrados, incluyendo humedales costeros de México y Estados Unidos de América, la superficie alcanza aproximadamente 1,942,500 kilómetros cuadrados. Tiene una profundidad promedio de 1,615 m y una profundidad máxima registrada de 4,400 m, su formación se produjo hace 300 millones de años debido al hundimiento del piso oceánico (Peters *et al.*, 2021; Turner y Rabalais, 2019).

Respecto a la topografía del Golfo de México, se sabe que las áreas poco profundas o intermareales (menos de 20 m) constituyen el 38% del Golfo, la plataforma continental (20 a menos de 180 m) representa el 22%, el talud continental (180 a 3,000 m) conforma el 20%, y las regiones abisales (más de 3000 m) comprenden el 20% restante (Love *et al.*, 2013).

Los sedimentos del fondo proveen de un hábitat a una variedad de organismos, principalmente comunidades de meiofauna. Estos organismos realizan funciones ecológicas clave, como el ciclo de nutrientes y la estabilización de sedimentos, sin embargo, las estructuras de estas comunidades, así como la distribución de dichos

organismos son en gran parte desconocidas por lo que es necesaria más investigación para comprender como las comunidades bénticas interactúan con el medio ambiente y los contaminantes, este conocimiento sería de vital importancia para los esfuerzos de restauración para estos hábitats debido a las perturbaciones humanas como los derrames de petróleo (Love *et al.*, 2013).

Esta cuenca ha favorecido el establecimiento de una impresionante y diversa biota, debido principalmente a su origen geológico, geomorfología, amplia extensión geográfica y dinámicos patrones de circulación. A pesar de que la intensidad de los estudios se ha sesgado hacia la región norte del golfo, particularmente la parte correspondiente a los Estados Unidos de América, hasta hace 10 años se tenía registro de 15,000 especies marinas (sin incluir bacterias y arqueas), esto representa una subestimación de la riqueza biológica debido a que hay zonas del sur del golfo que son poco accesibles y han sido pobremente estudiadas como lo es el mar profundo o el talud continental (Peters *et al.*, 2021).

MATERIAL Y MÉTODOS

Actividades de campo

Se tomaron muestras de sedimento durante la campaña oceanográfica XIXIMI-7 (9 de mayo al 9 de junio del 2019) en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México a bordo del B/O Justo Sierra, los datos de geoposición, profundidad y tipo de muestreo (nucleador de caja o multinucleador) de las nueve estaciones donde se logró extraer meiofauna con tardígrados se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3. Muestras obtenidas durante la campaña oceanográfica XIXIMI-7.

| Estación | Lance | Fecha de lance | Profundidad al tocar fondo (m) | Latitud al tocar fondo (grados decimales) | Longitud al tocar fondo (grados decimales) |
|----------|-------------------|----------------|--------------------------------|---|--|
| A10 | Multinucleador | 2019-06-03 | 3,340 | 24.989717 | -86.98373 |
| B11 | Multinucleador | 2019-05-10 | 2,400 | 24.014517 | -96.00765 |
| B18 | Nucleador de caja | 2019-06-03 | 1,182 | 24.004233 | -86.80632 |
| C22 | Multinucleador | 2019-06-08 | 3,729 | 22.992467 | -94.49258 |
| C23 | Multinucleador | 2019-06-07 | 3,739 | 22.997933 | -93.0034 |
| D29 | Multinucleador | 2019-06-08 | 3,564 | 22.006233 | -94.01162 |
| E33 | Multinucleador | 2019-06-09 | 3,435 | 21.496817 | -94.498 |
| F38 | Multinucleador | 2019-06-08 | 2,822 | 21.008183 | -94.00295 |
| TS1 | Nucleador de caja | 2019-05-15 | 2,417 | 25.010033 | -95.5912 |

Actividades de laboratorio

Los ejemplares de la meiofauna se extrajeron de la matriz de sedimentos de acuerdo con Cisterna *et al.* (2019) mediante decantación y flotación con sílice coloidal (Ludox™ con 1.15 g cm⁻³ de gravedad específica), seguido de un tamizado a través de una malla de 1000 µm y reteniendo sobre una malla de 45 µm, el

proceso anterior se repitió 3 veces para maximizar el número de organismos extraídos, los cuales, una vez separados del sedimento se almacenaron en formalina al 4%.

El montaje de ejemplares consistió en poner una gota de agua destilada en un portaobjetos, con un volumen que permitiera colocar el cubreobjetos dejando una mínima cantidad de agua fuera del mismo, posteriormente se situó al ejemplar en la gota de agua tratando de centrarlo y en posición ventral/dorsal, se dejó caer el cubreobjetos de manera uniforme para evitar que el ejemplar se recorriera o saliera del cubreobjetos. Se revisó que el ejemplar permaneciera en posición ventral/dorsal y, en caso de que se haya movido, con ayuda de un cabello se corrigió el desplazamiento, se dejó reposar aproximadamente de 5-10 minutos (variación dependiendo de la temperatura ambiente) permitiendo la evaporación del agua excedente.

Para comprobar si la profundidad del agua era la adecuada se movió cuidadosamente el portaobjetos verificando que el ejemplar no se desplace también, así como que no haya exceso de agua fuera del cubreobjetos, en este punto se observaron con un microscopio compuesto con iluminación de contraste interdifereencial y fotografiaron las estructuras del organismo que pueden dejar de ser visibles tras aclarar, posteriormente se colocó una gota de glicerina al 10% junto al cubreobjeto para que comience a absorberse por capilaridad durante aproximadamente 10 minutos, el proceso se repitió con glicerina al 25% durante 30 minutos y glicerina al 75% durante aproximadamente un día a la par de este proceso se buscó fotografiar las estructuras útiles durante la identificación, como los apéndices cefálicos, los órganos digestivos, las garras y los otros apéndices sensoriales. Al final de la última absorción y con ayuda de un papel, de forma cuidadosa se retiró el exceso de glicerina sobrante en el portaobjetos y se selló la preparación cubriendo todo el perímetro del cubreobjetos con barniz para uñas transparente (Pérez-Pech, comunicación personal, 23 y 24 de octubre de 2021).

Actividades de gabinete

Una vez que los ejemplares fueron montados, se fotografiaron utilizando un microscopio Zeiss™ Scope.A1 equipado con contraste de interferencia diferencial

(DIC) y una cámara Labomed®, se emplearon objetivos de 20x, 40x y 100x, una vez tomadas las fotografías se seleccionaron las que presentaban el mejor enfoque con la finalidad de facilitar la identificación taxonómica, la cual se realizó con ayuda de los trabajos de Hansen y Kristensen (2020), Fontoura *et al.* (2017) y Fujimoto y Hansen (2019).

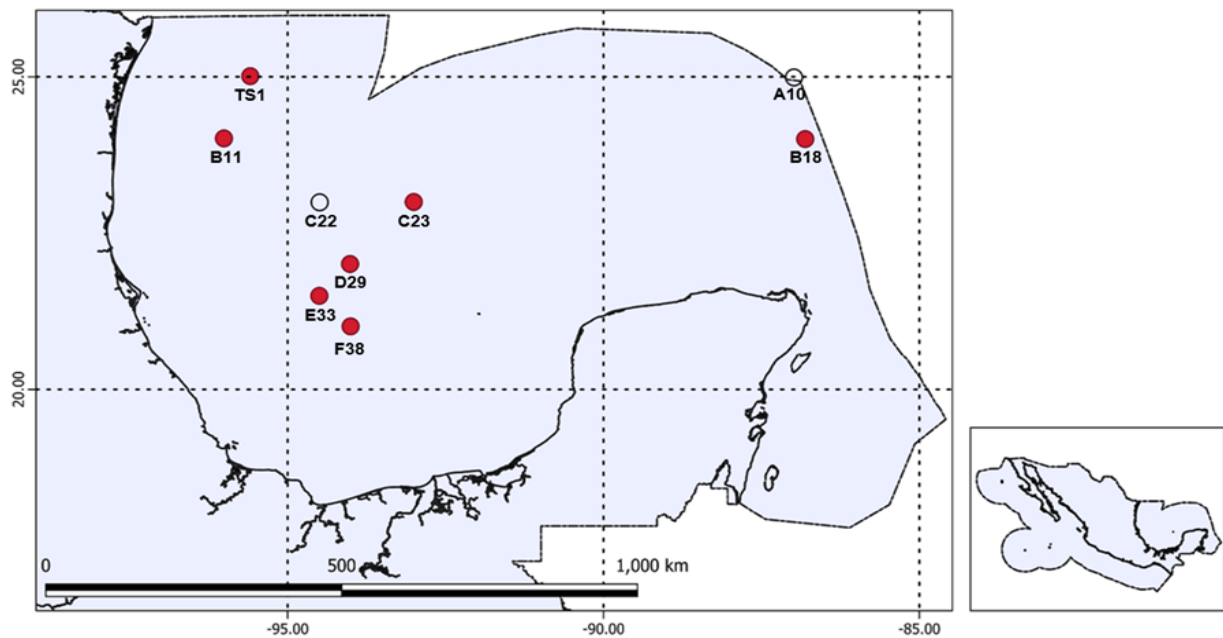
Análisis estadístico

Una vez identificados los ejemplares a nivel genérico, se realizó la prueba H de Kruskal-Wallis con la finalidad de conocer si existe una relación entre los taxones identificados y la profundidad a la que se localizaron, es decir, si se presenta una diferencia estadísticamente significativa entre los intervalos de distribución de cada género. El análisis y graficación se llevó a cabo utilizando el software RStudio 3.5.1 para su posterior interpretación.

RESULTADOS

De las 9 estaciones muestreadas, solamente se lograron encontrar tardígrados en 7 estaciones: B11, B18, C23, D29, E33, F38 y TS1 (Fig. 2); se consiguió montar 20 ejemplares de tardígrados pertenecientes a 4 géneros distintos. Distribuidos de la siguiente manera: 9 de *Euclavarctus* Renaud-Mornant, 1975, 5 de *Angursa* Pollock, 1979, 3 de *Coronarctus* Renaud-Mornant, 1974, uno de *Tholoarctus* Kristensen & Renaud-Mornant, 1983, y 2 ejemplares que sufrieron daño importante durante el montaje por lo que solo se pudieron identificar hasta familia Halechiniscidae Thulin, 1928.

ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA DEL GOLFO DE MÉXICO



Autor: Rubén Nahúm Delgado Reyes

Referencia: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2011). 'Zona Económica Exclusiva de México'. Límite Nacional 1:250000. Modificado de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Lugo-Hupb J., Vidal-Zepeda, R., Fernández-Equiarte, A., Gallegos-García, A., Zavala-H, J. y otros (1990). 'Zona Económica Exclusiva de México'. Extraído de Hipsometría y Batimetría, I.1.1. Atlas Nacional de México. Vol. I. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

□ Zona Económica Exclusiva de México

○ Estaciones de muestreo con ausencia de tardígrados

● Estaciones de muestreo con presencia de tardígrados

Figura 2. Mapa de las estaciones de colecta de los ejemplares en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México.

Descripciones taxonómicas

Clase **Heterotardigrada** Marcus, 1927

Diagnosis (Tomada de Degma y Guidetti, 2018): Órganos cefálicos y cirros laterales tipo A presentes. Gonoporo separado del ano y túbulos de Malphigi ausentes. Placoides en la faringe que consisten en tres elementos de carbonato de calcio (CaCO₃) o tres estructuras cuticulares finas en forma de barra.

Orden **Arthrotardigrada** Marcus, 1927

Diagnosis (Tomada de Degma y Guidetti, 2018): Cirro medio generalmente presente, raramente ausente. Las extremidades de los lobópodos son digitadas o no digitadas, en tal caso las garras se fijan directamente a las extremidades de los lobópodos y no a las papilas.

Familia **Halechiniscidae** Thulin, 1928

Diagnosis (Modificado de Jørgensen *et al.*, 2014): Cuerpo sin placas dorsales segmentarias esclerosadas, el conjunto completo de órganos sensoriales cefálicos es de once elementos (cirro medio no pareado, tres pares de cirros y dos pares de clavos), las clavos bucales pueden ser indistinguibles o consistir en clavos secundarios y terciarios fusionados. En el adulto cada lobópodo tiene cuatro dígitos con garras, las cuales pueden ser simples o con ganchos accesorios, espuelas o sedas finas. Los pedúnculos pueden estar presentes en los cuatro dígitos o solo en los dígitos externos. Las hembras con dos receptáculos seminales.

Subfamilia **Euclavarctinae** Renaud-Mornant, 1983

Diagnosis (Tomada de Degma y Guidetti, 2018): Cuerpo sin placas y sin expansiones, cabeza cónica, dos pares de clavos con formas diferentes. Cirros tipo

A y clavav insertadas por separado. Tarso no claramente delimitado, garras simples o con espina accesoria en la garra media.

Género ***Euclavarctus*** Renaud-Mornant, 1975

(Figs. 3-F)

Especie tipo: *Euclavarctus thieli* Renaud-Mornant, 1975.

Diagnosis (Tomada de Degma y Guidetti, 2018): Cirros cefálicos compuestos por un cirriforme dentro de un embudo, una vaina basal, una parte principal y una parte distal delgada. Dos pares de clavav presentes: primarias en forma de mazo inclinado hacia adelante y secundarias esféricas. Garras sin proyecciones en forma de espuela.

Euclavarctus sp.

(Figs. 3A-F)

Material examinado: 1 ejemplar [T001] de la estación D29 (22.006233 LN, -94.01162 LW), 3,564 m de profundidad, del 08-06-2019 y 8 ejemplares [T002], [T003], [T004], [T010], [T011], [T012], [T015] y [T016] de la estación C23 (22.997933 LN, -93.0034 LW), 3,739 m de profundidad, del 07-06-2019.

Descripción. Longitud corporal 200-300 µm, cuerpo con forma ovoide alargada (Fig. 3A), las clavav primarias con forma ovalada y las secundarias esféricas (Fig. 3B), los cirros laterales son cortos (Fig. 3C), cirros E presentes en el cuarto par de lobópodos, órganos sensoriales del cuarto par de lobópodos con forma de papila (Fig. 3D), cada lobópodo cuenta con cuatro dígitos insertados directamente en un tarso, los dígitos terminan en garras de una sola punta (Fig. 3E y 3F).

Comentarios. La identificación a nivel de género fue complicada ya que las claves de identificación no asignan de forma explícita las características específicas para diferenciar entre los géneros *Euclavarctus*, *Exoclavarctus*, *Proclavarctus* y *Moebjergractus* por lo que fue necesario hacer una revisión de las diagnosis de cada género para conseguir identificarlo. El género *Euclavarctus* cuenta con 2

especies descritas: *E. convergens* Renaud-Mornant, 1983 y *E. thieli*. Renaud-Mornant, 1975.

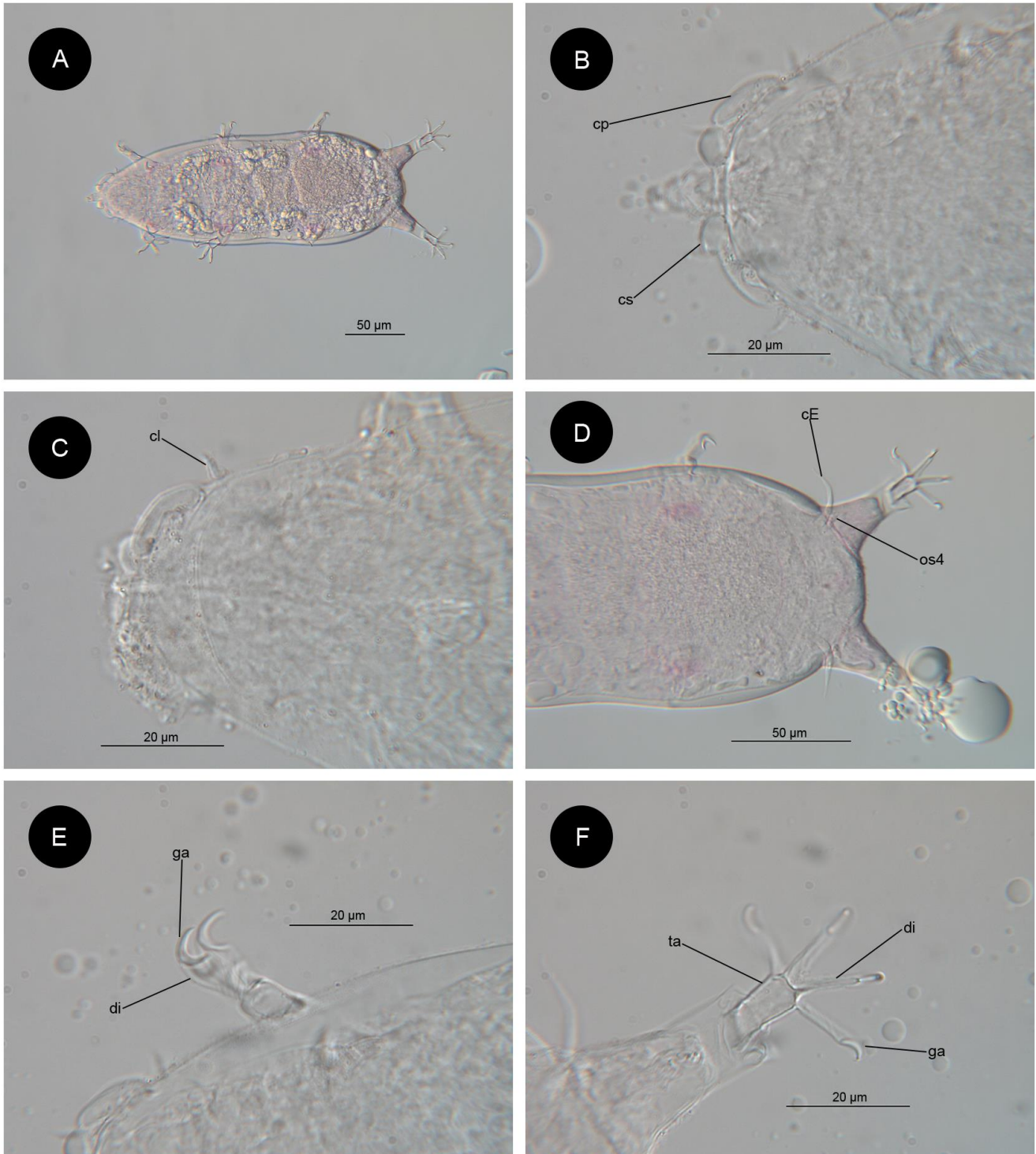


Figura 3. *Euclavarctus* sp. A. Vista general del cuerpo; B. Clava primaria y secundaria; C. Cirro lateral; D. Cirro E y órgano sensorial del lobópodo IV; E. Garras del lobópodo I; D. Garras del lobópodo IV. Abreviaturas. cE: cirro E, cl: cirro lateral, cp: clava primaria, cs: clava secundaria, di: dígito, ga: garra, os4: órgano sensorial del lobópodo IV, ta: tarso.

Familia **Coronarctidae** Renaud-Mornant, 1974

Diagnosis (Tomada de Degma y Guidetti, 2018): Cuerpo cilíndrico vermiforme. Cutícula del tronco lisa y con pliegues, con tres cirros somáticos (B,C y E) o solo uno (E). Once órganos sensoriales cefálicos presentes, incluidas clavav secundarias grandes y aplanadas (ocasionalmente aparecen como áreas indistintas). Tres o cuatro garras conectadas a los lobópodos por membranas.

Género **Coronarctus** Renaud-Mornant, 1974

(Figs. 4A-F)

Especie tipo: *Coronarctus tenellus* Renaud-Mornant, 1974.

Diagnosis (Tomada de Romano *et al.*, 2011): Cuerpo cilíndrico sin placas, con pliegues cuticulares más o menos pronunciados. Tres pares de cirros somáticos con escapo en forma de acordeón. Cabeza cónica separada en dos partes: la anterior es triangular con cirro medio y clavav secundarias aplanadas, la posterior es más angosta con cirros laterales y clavav primarias. Cuatro garras en cada lobópodo que muestran una heterometría evidente. Aparato bucal sin soportes de estilete ni placoides. Tracto digestivo con divertículos poco desarrollados. Hembra con dos receptáculos seminales.

Coronarctus sp.

(Figs. 4A-F)

Material examinado: 1 ejemplar [T006] de la estación B11 (24.014517 LN, -96.00765 LW), 2,400 m de profundidad, del 10-05-2019, y 2 ejemplares [T018] y [T020] de la estación F38 (21.008183 LN, -94.00295 LW), 2,822 m de profundidad, del 08-06-2019.

Descripción: Longitud corporal entre 300 y 450 μm , cuerpo cilíndrico, cabeza cónica (Fig. 4A); clavav primarias circulares y pequeñas (Fig. 4B), clavav secundarias aplanadas, cirros internos (Fig. 4C) y externos presentes (Fig. 4D); los lobópodos solo cuentan con garras, cuatro en cada par (Fig. 4E y 4F).

Comentarios. Las características de identificación a nivel de género se observaron de forma clara en los ejemplares examinados. El género cuenta con 10 especies descritas a nivel mundial: *C. disparilis* Renaud-Mornant, 1987; *C. dissimilis* Gomes-Júnior, E. Santos, da Rocha, P.J.P. Santos & Fontoura, 2020; *C. fastigatus* Renaud-Mornant, 1987; *C. laubieri* Renaud-Mornant, 1987; *C. mexicus* Romano III, Gallo, D'Addabbo, Accogli, Baguley & Montagna, 2011; *C. neptunus* Gomes-Júnior, E. Santos, da Rocha, P.J.P. Santos & Fontoura, 2020, *C. stylisetus* Renaud-Mornant, 1987; *C. tenellus* Renaud-Mornant, 1974; *C. verrucatus* Hansen, 2007; *C. yurupari* Gomes-Júnior, E. Santos, da Rocha, P.J.P. Santos & Fontoura, 2020.

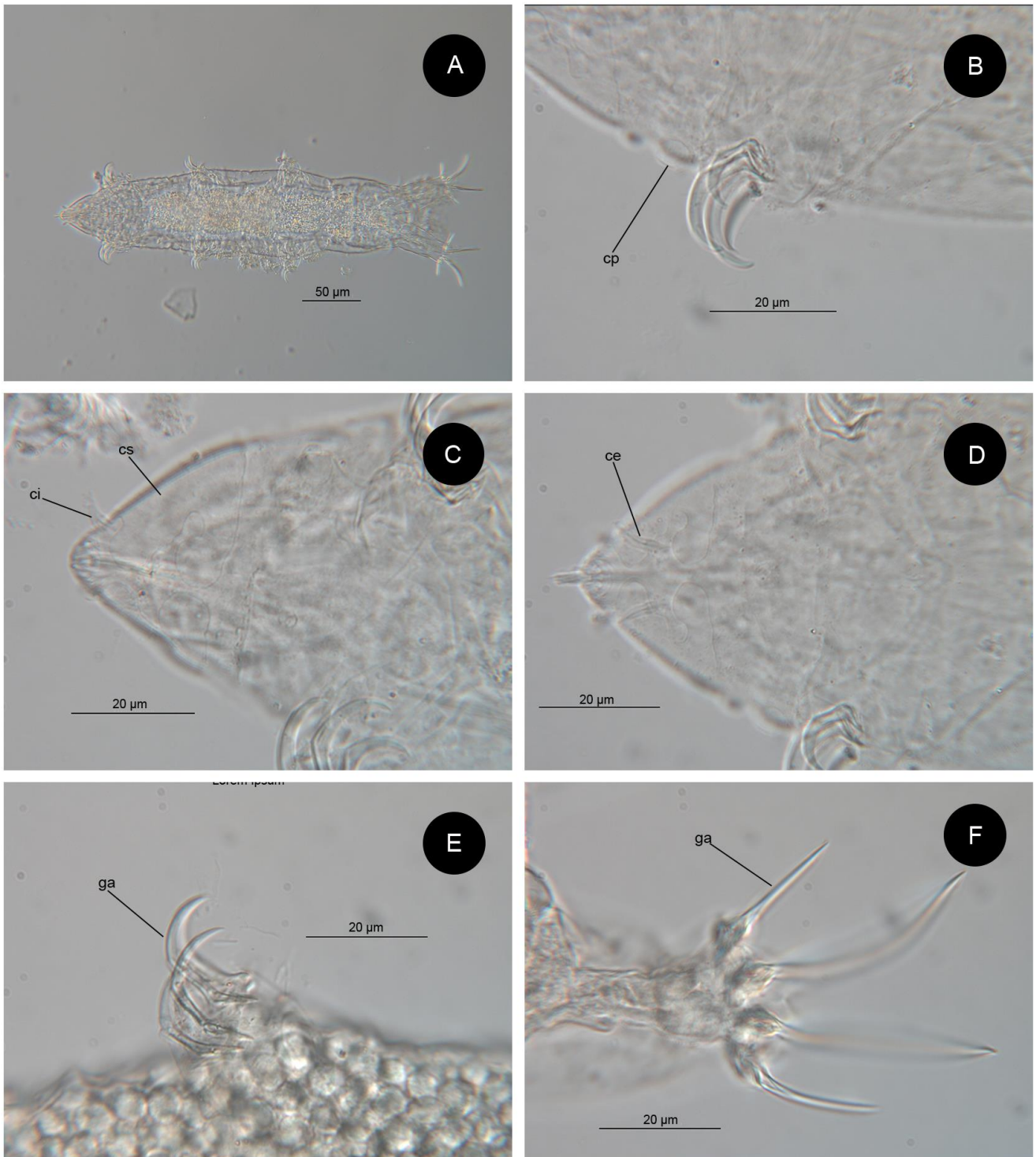


Figura 4. *Coronarctus* sp. A. Vista general del cuerpo; B. Clava primaria; C. Clava secundaria y cirros internos; D. Cirros externos; E. Garras del lobópodo I; D. Garras del lobópodo IV. Abreviaturas. ce: cirro externo, ci: cirro interno; cp: clava primaria, cs: clava secundaria, ga: garras.

Familia **Styraconyxidae** Kristensen & Renaud-Mornant, 1983

Diagnosis (Tomada de Degma y Guidetti, 2018): Cuerpo sin placas cuticulares esclerosadas. Los órganos cefálicos generalmente consisten en tres pares de cirros, (los medios no son pareados), generalmente dos pares de clavas, aunque en algunas especies puede haber un tercer par. Órganos sensoriales papilados no modificados en el lobópodo IV. Los lobópodos de los adultos terminan en cuatro dígitos, generalmente con garras multipunteadas, rara vez con una sola punta. Pedúnculos presentes en todos los dígitos o solo en los externos, almohadillas en forma de corazón en dígitos internos o ausentes. Un par de receptáculos seminales presentes en las hembras adultas.

Género **Angursa** Pollock, 1979

(Figs. 5A-F)

Especie tipo: *Angursa bicuspis* Pollock, 1979.

Diagnosis (Tomada de Fujimoto y Hansen, 2019): Cuerpo delgado. Cirro medio presente, clavav primarias papiladas, las secundarias y terciarias son aplanadas. Órganos sensoriales presentes en el lobópodo I y ocasionalmente en los lobópodos II y III, siendo los del lobópodo IV papilados. Cirro E cerca del margen caudal del cuerpo. Cada dígito termina en garra con dos puntas divergentes, pedúnculos presentes en la base de los dígitos externos. Receptáculos seminales presentes. Ano en posición terminal ocasionalmente con papilas anales.

Angursa sp.

(Figs. 5A-F)

Material examinado: 2 ejemplares [T005] y [T007] de la estación B11 (24.014517 LN, -96.00765 LW), 2,400 m de profundidad, del 10-05-2019, 1 ejemplar [T013] de la estación E33 (21.496817 LN, -94.498 LW), 3,435 m de profundidad, del 09-06-2019 y 2 ejemplares [T017] y [T019] de la estación TS1 (25.010033 LN, -95.5912 LW), 2417 m de profundidad, del 15-05-2019.

Descripción. Longitud corporal de 150-200 μm , el cuerpo es delgado y alargado (Fig. 5A); clavav primarias con forma lanceolada (Fig. 5B) u ovoide, clavav secundarias aplanadas, cirros laterales (Fig. 5C), internos (Fig. 5D) y externos (Fig. 5E) presentes; cada lobópodo cuenta con cuatro dígitos insertados directamente en un tarso, los dígitos terminan en garras de dos puntas (Fig. 5F).

Comentarios. En algunos ejemplares no se lograron observar con claridad las garras con dos puntas, sin embargo, cumplen con las características necesarias para ubicarlos dentro del género. Para el caso del ejemplar T007 fue posible observar características muy similares a las que presenta la especie *Angursa antártica*, las clavav primarias son bulbosas y más cortas que los cirros laterales, los órganos sensoriales del lobópodo IV son papilas envueltas en vainas hemisféricas y el cirro E presenta el escapo anillado. *Angursa* cuenta con 7 especies descritas a nivel mundial: *A. antártica* Villora-Moreno, 1998; *A. bicuspis* Pollock, 1979; *A. capsula* Bussau, 1992; *A. clavifera* Noda, 1985; *A. lanceolata* Renaud-Mornant, 1981; *A. lingua* Bussau, 1992 y *A. seisuimaruae* Fujimoto & Hansen, 2019.

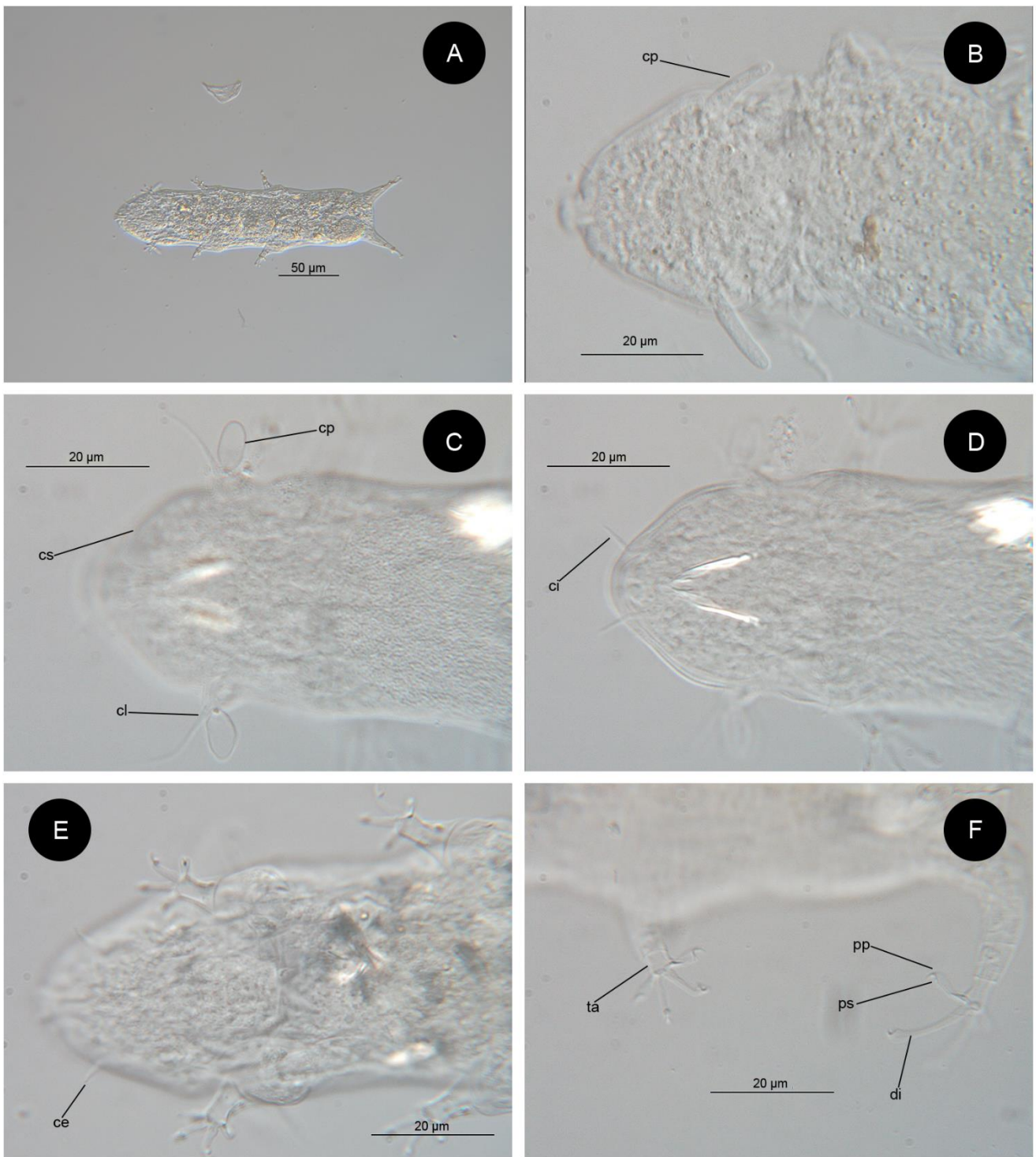


Figura 7. *Angursa* sp. A. Vista general del cuerpo; B. Clava primaria con forma lanceolada; C. Clava primaria con forma ovoide, clava secundaria y cirros laterales; D. Cirros internos; E. Cirros externos; D. Garras de los lobópodos III y IV. Abreviaturas. ce: cirro externo, ci: cirro interno, cp: clava primaria, cs: clava secundaria, di: dígito, pp: punta primaria, ps: punta secundaria, ta: tarso.

Género *Tholoarctus* Kristensen & Renaud-Mornant, 1983

(Figs. 6A-F)

Especie tipo: *Tholoarctus natans* Kristensen & Renaud-Mornant, 1983.

Diagnosis (Tomada de Jørgensen *et al.*, 2014): epicutícula externa en forma de barril que rodea el tronco, el cuerpo es delgado y alargado. Juego completo de apéndices cefálicos. Las clavas primarias en forma de cono y las secundarias agrandadas y rodeando los cirros internos y externos. Cirros A y E parcialmente rodeados por pliegues epicuticulares en forma de embudo. Órganos sensoriales de los lobópodos siempre presentes en el lobópodo I y IV (os4), aunque pueden presentarse órganos sensoriales mucho más pequeños en el lobópodo II y III. Flagelo del órgano sensorial del lobópodo I siempre largo. Órgano sensorial del lobópodo IV parcialmente encerrado en pliegues epicuticulares en forma de embudo. Las hembras tienen garras con un gancho principal, uno accesorio basal y un espolón accesorio terminal. Los machos y las larvas pueden tener garras simples en los dígitos externos. Tubo bucal largo generalmente con dos proyecciones laterales alrededor del punto medio. Soportes del estilete largos y delgados articulados con las furcas. Placoides con revestimiento cuticular no calcificado, pero se producen tres pequeños apodemas calcificados en la parte anterior del bulbo faríngeo. El cono bucal es terminal y protuberante. Los celomocitos globulares parecen estar adheridos al intestino medio. Dimorfismo sexual en tamaño corporal y garras.

***Tholoarctus* sp.**

(Figs. 6A-F)

Material examinado: 1 ejemplar [T008] de la estación B18 (24.004233 LN, -86.80632 LW), 1,182 m de profundidad, del 03-06-2019.

Descripción: Longitud corporal de 200 μm , el cuerpo es delgado y se encuentra encerrado dentro de una epicutícula en forma de barril (Fig. 6A y 6B), clavas primarias con forma ovoide, clavas secundarias agrandadas (Fig. 6C), cirros

laterales (parcialmente rodeados por pliegues epicuticulares con forma de embudo), internos (Fig. 6D) y externos (Fig. 6E) presentes, todas los lobópodos cuentan con cuatro dígitos insertados directamente en un tarso, los dígitos terminan en garras de aparentemente una punta (Fig. 6F).

Comentarios. No fue posible observar de forma clara las puntas accesorias de las garras, sin embargo, el ejemplar cuenta con las características suficientes para ubicarlo dentro del género. *Tholoarctus* cuenta con 2 especies: *T. natans* Kristensen & Renaud-Mornant, 1983 y *T. oleseni* Jørgensen, Boesgaard, Møbjerg & Kristensen, 2014.

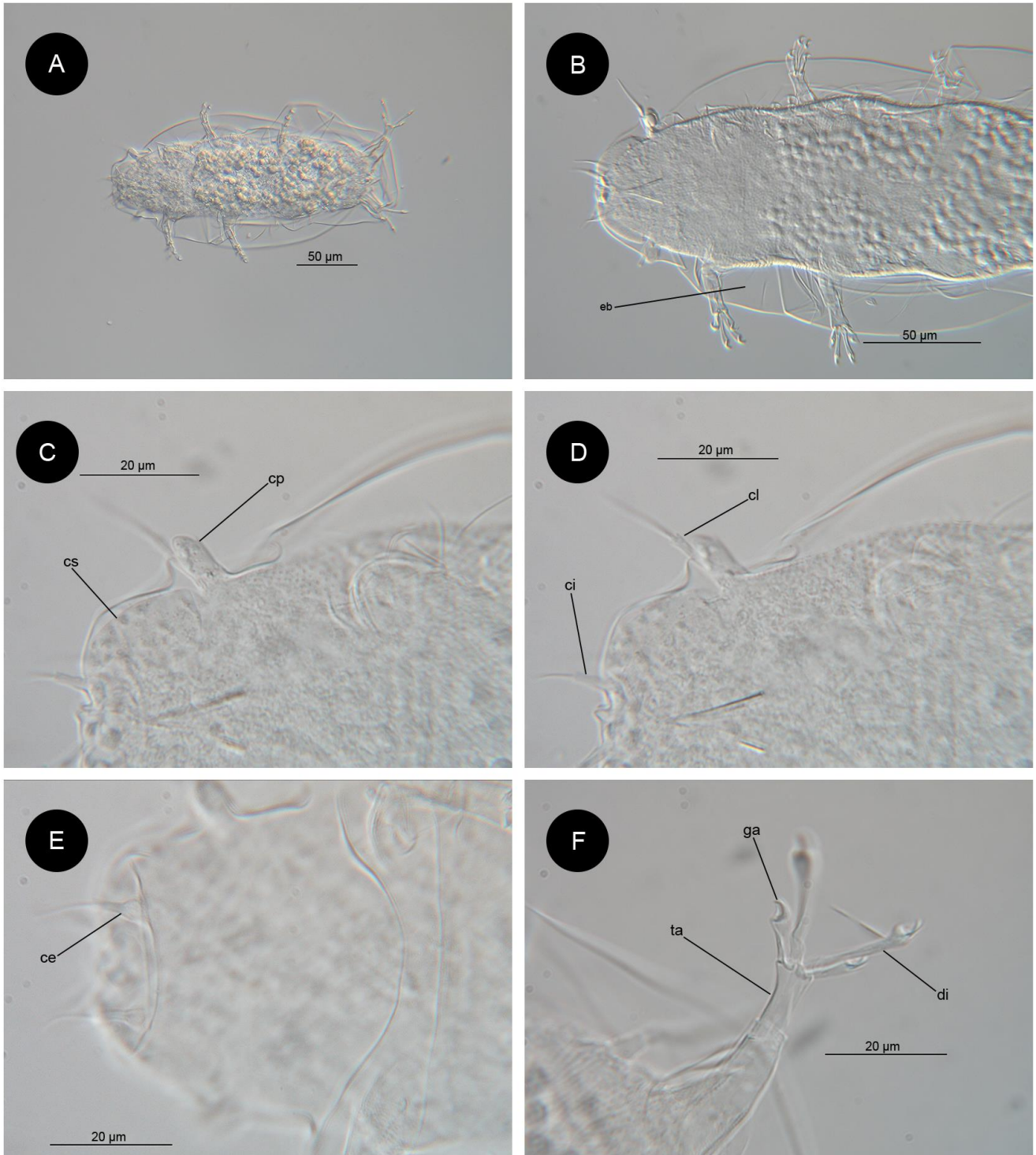


Figura 8. *Tholoarctus* sp. A. Vista general del cuerpo; B. Epicutícula; C. Clava primaria y secundaria; D. Cirro lateral e interno; E. Cirros externos; F. Garras del lobópodo IV. Abreviaturas. ce: cirro externo, ci: cirro interno; cp: clava primaria, cs: clava secundaria, di: dígito, eb: epicutícula en forma de barril, ga: garras, ta: tarso.

Clave de identificación taxonómica para los tardígrados del Golfo de México

Clave para las clases Eutardigrada y Heterotardigrada

1a. Lobópodos con dos garras terminales (externa e interna), cada garra (doble) con dos ramas (primaria y secundaria) (Fig. 7); faringe con 6 filas de macroplacoides cuticulares (Fig. 8); ano no separado del gonoporo (cloaca) (Fig. 9).....**Eutardigrada**

1b. Lobópodos con subdivisión similar a una estructura telescópica (coxa, fémur, tibia y tarso) (Fig. 10), en algunos grupos la subdivisión es indistinta; faringe con 3 filas de placoides indivisos (Fig. 11); ano separado del gonoporo, presente (Fig. 12)..... **2-Heterotardigrada**

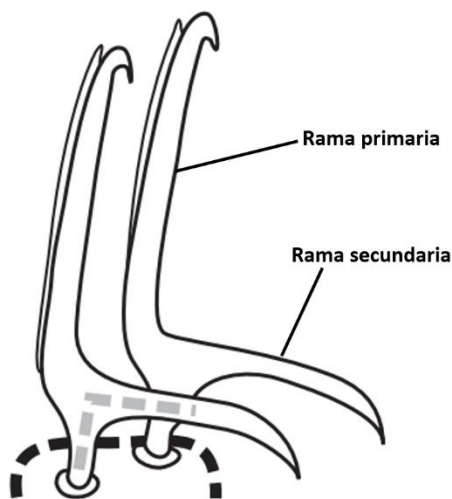


Figura 9. Garra doble con rama principal y secundaria. Modificada de Bringemer y Hohberg, 2017.

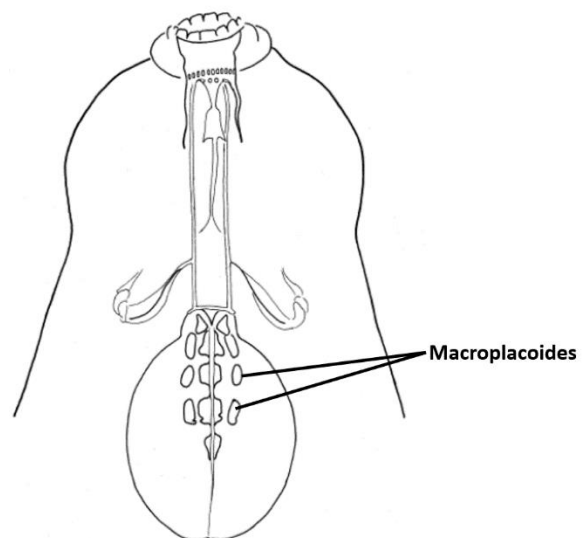


Figura 8. Macroplacoides presentes en la faringe. Modificada de Abe y Takeda, 2000.

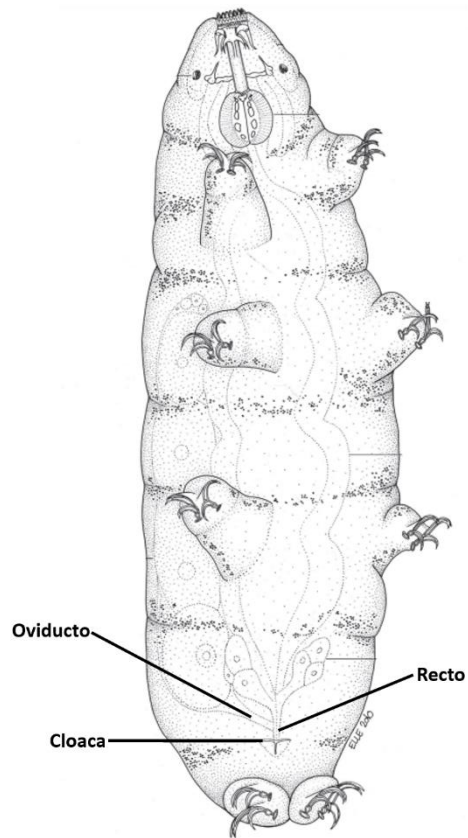


Figura 9. Unión del gonoducto y recto en la cloaca. Modificada de Trygvadóttir y Kristensen, 2011.

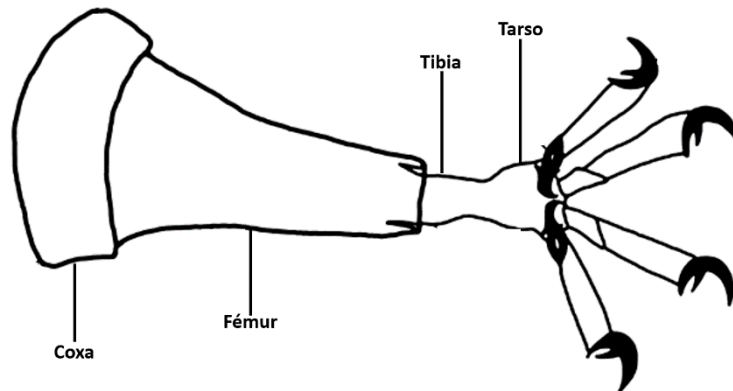


Figura 10. Subdivisión del lóbulo (coxa, fémur, tibia y tarso). Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

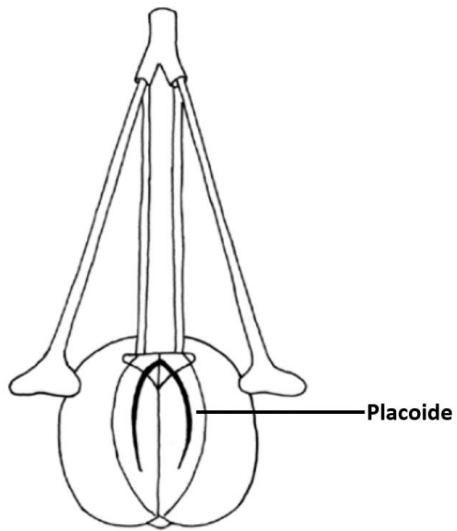


Figura 11. Placoides indivisos presentes en la faringe. Modificado de Nelson *et al.*, 2010.



Figura 12. Separación entre el gonoporo y el ano. Modificada de Fujimoto y Hansen, 2019.

Clave para los órdenes Arthrotardigrada y Echiniscoidea

- 2a. Garras ausentes, si están presentes menos de cinco por lobópodo; lobópodos sin dígitos (las garras se fijan directamente en los lobópodos, no en papilas) (Fig. 13), si están presentes van de cuatro a seis (Fig. 14).....**3-Arthrotardigrada**
- 2b. Garras presentes, insertadas en minúsculas papilas ubicadas al final de cada lobópodo, lobópodos sin dígitos (Fig. 15).....**Echiniscoidea**

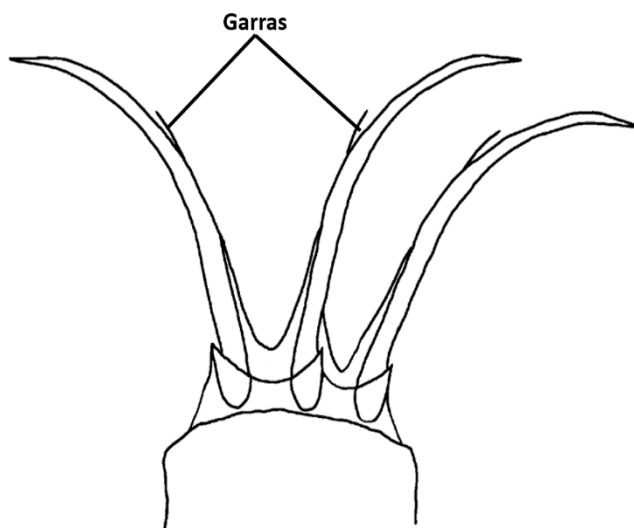


Figura 13. Garras insertadas directamente en el lobópodo (sin dígitos).
Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

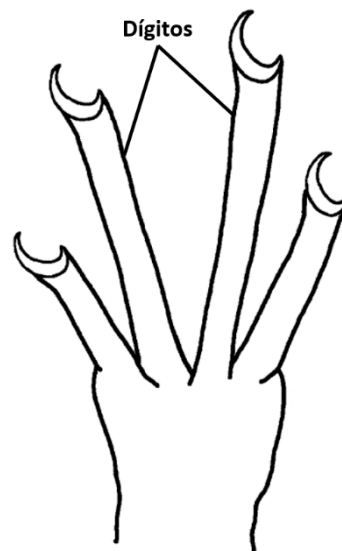


Figura 14. Lobópodo con dígitos.
Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

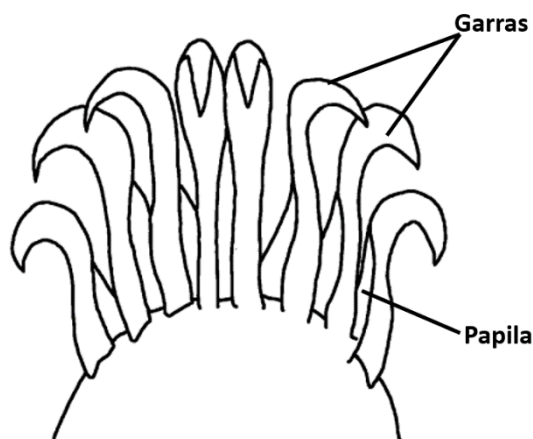


Figura 15. Garras insertadas en papilas (sin dígitos).
Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Clave para los géneros del orden Arthrotardigrada

- 3a. Lobópodos con garras, cuatro en cada par de lobópodos (Fig. 16); placas dorsales y ventrales ausentes (Fig. 17)..... **Coronarctus**
- 3b. Lobópodos con dígitos.....4

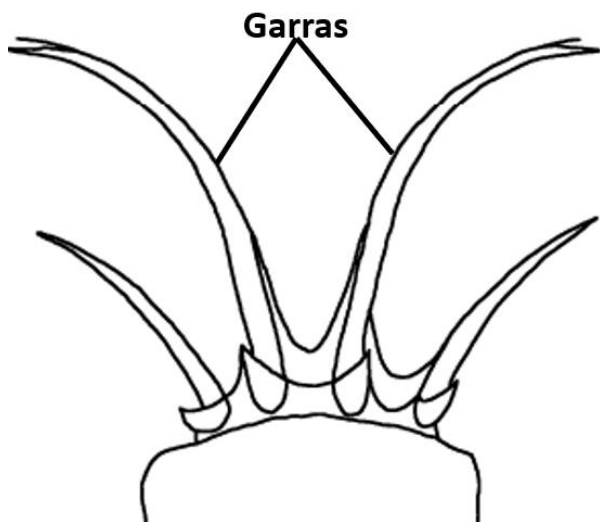


Figura 16. Cuatro garras en cada lobópodo. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

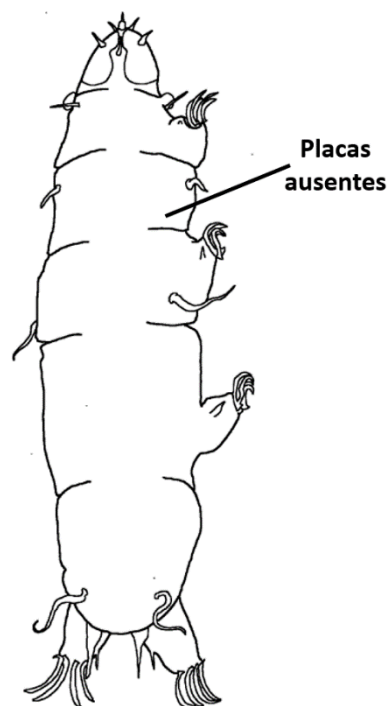


Figura 17. Ausencia de placas dorsales y ventrales. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

- 4a. Cada lobópodo cuenta con seis dígitos que terminan en discos de succión (Fig. 18).....**Batillipes**
- 4b. Cada lobópodo cuenta con cuatro dígitos5

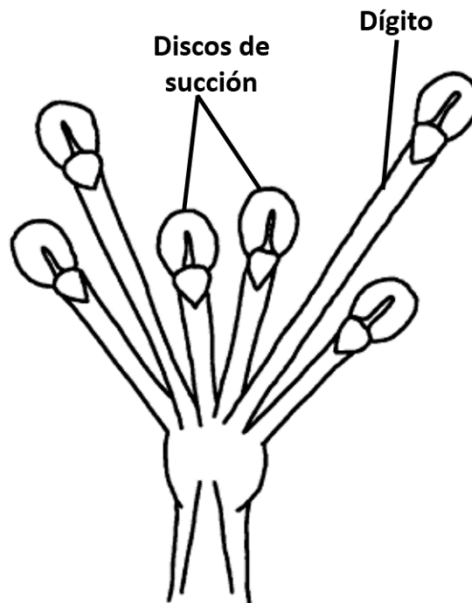


Figura 18. Dígitos con discos de succión.
Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

- 5a. Dígitos externos con pedúnculos que se extienden desde el tarso hacia los dígitos (Fig. 19); pedúnculos nunca con forma de gancho; clavav primarias con forma ovoide (Fig. 20) o lanceolada (Fig. 21).....6
- 5b. Pedúnculos completamente ausentes.....7

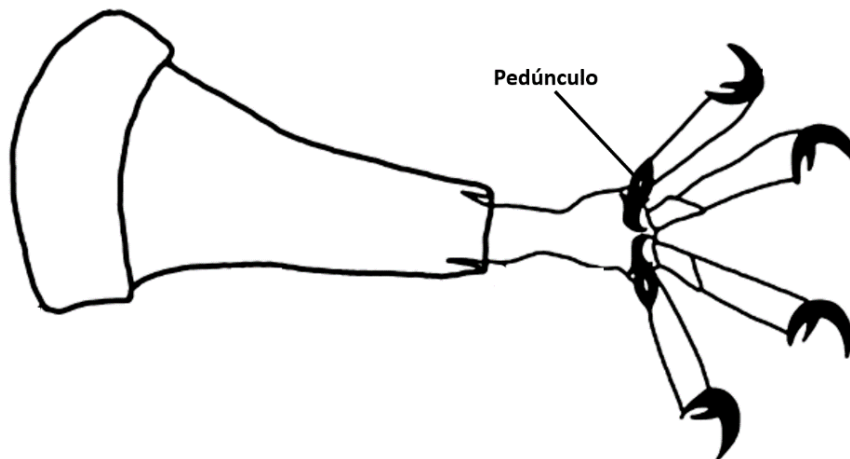


Figura 19. Pedúnculo que se extiende del tarso hacia los dígitos. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

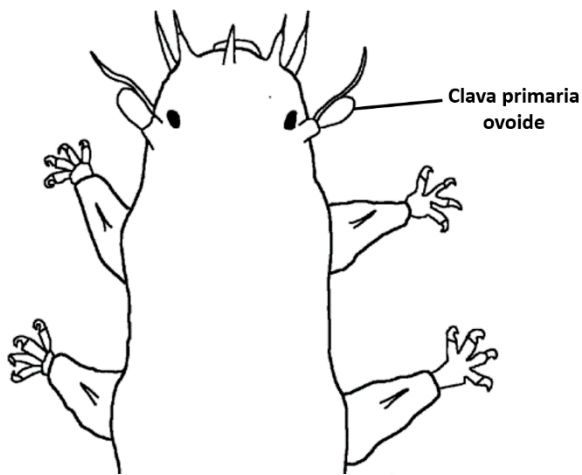


Figura 20. Clava primaria con forma ovoide. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

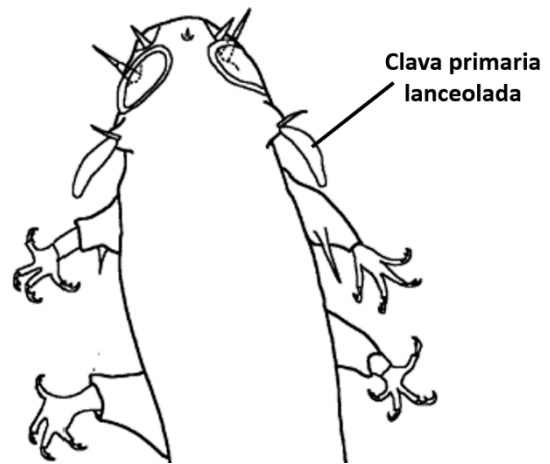


Figura 21. Clava primaria con forma lanceolada. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

- 6a. Cuerpo delgado encerrado dentro de una epicutícula agrandada con forma de barril (Fig. 22); garras de tres puntas (el macho puede presentar garras externas con una sola punta) (Fig. 23)..... ***Tholoarctus***
- 6b. Cuerpo no encerrado dentro de una epicutícula agrandada con forma de barril.....8

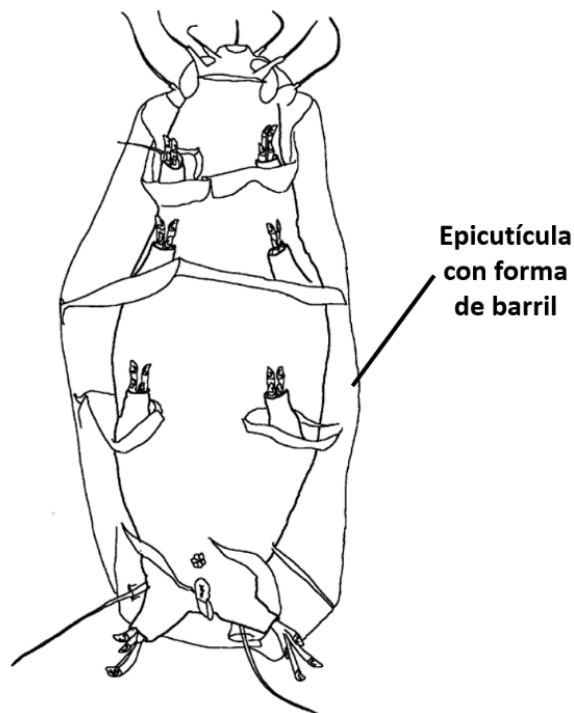


Figura 22. Epicutícula con forma de barril encerrando el cuerpo. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

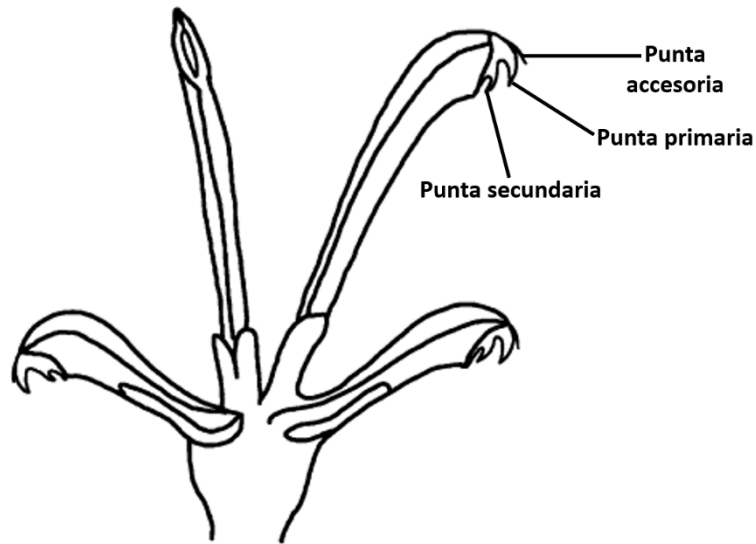


Figura 23. Garras con tres puntas.
Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

- 7a. Cada uno de los dígitos cuenta con almohadillas adhesivas ventrales alargadas y garras (Fig. 24).....**Paradoxipus**
- 7b. Dígitos no cuentan con almohadillas adhesivas ventrales alargadas; garras de una sola punta siempre presentes (Fig. 25); clava primaria y cirro lateral insertados por separado, clava secundaria con forma de papila esférica (Fig. 26).....9

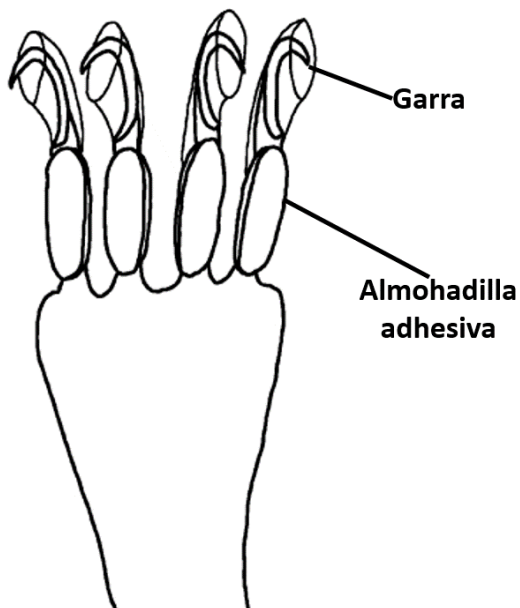


Figura 24. Dígitos con almohadillas adhesivas y garras. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

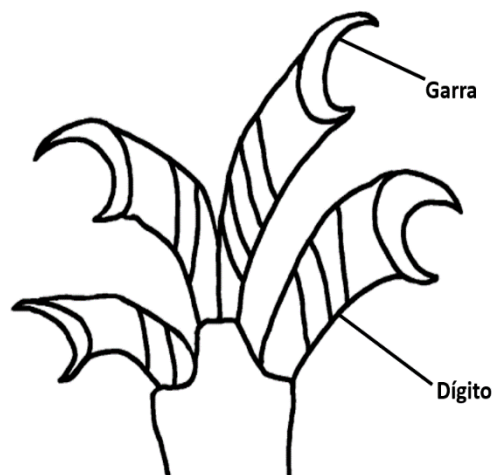


Figura 25. Garras de una sola punta.
Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

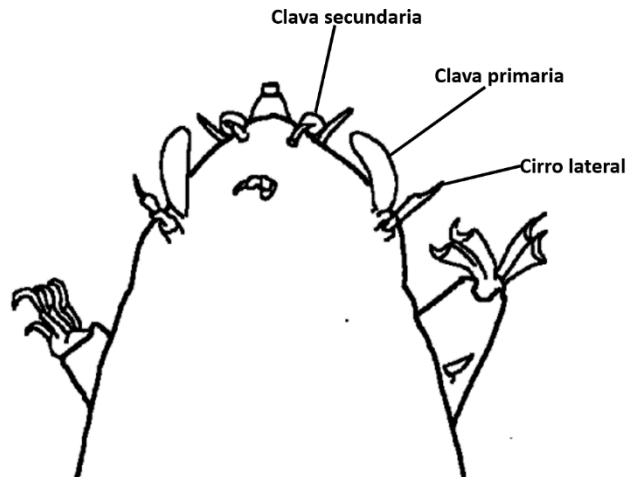


Figura 26. Clava primaria y cirro lateral insertados por separado; clava secundaria esférica. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

8a. Todas las garras siempre con tres puntas (Fig. 27); cuerpo cilíndrico no aplanado dorso-ventralmente (Fig. 28).....**Styraconyx**

8b. Todas las garras con dos puntas divergentes (ganchos) (Fig. 29), el gancho primario es más grueso que el secundario; cuerpo delgado y alargado (Fig. 30).....**Angursa**

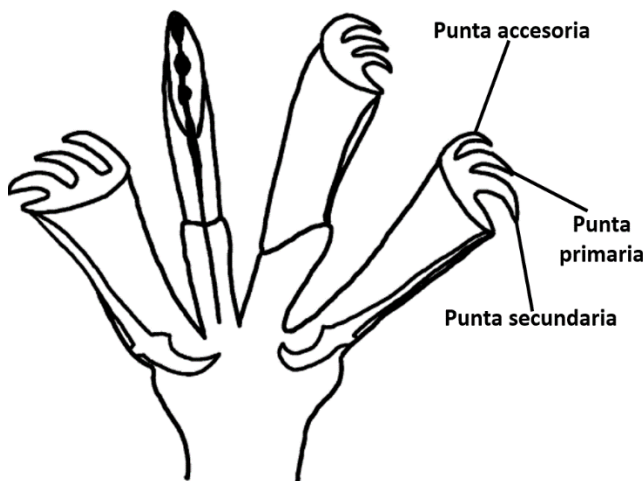


Figura 27. Garras con tres puntas. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

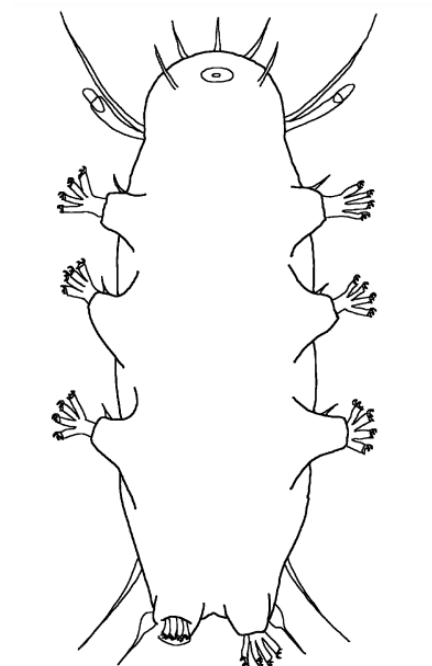


Figura 28. Cuerpo cilíndrico no aplanado. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

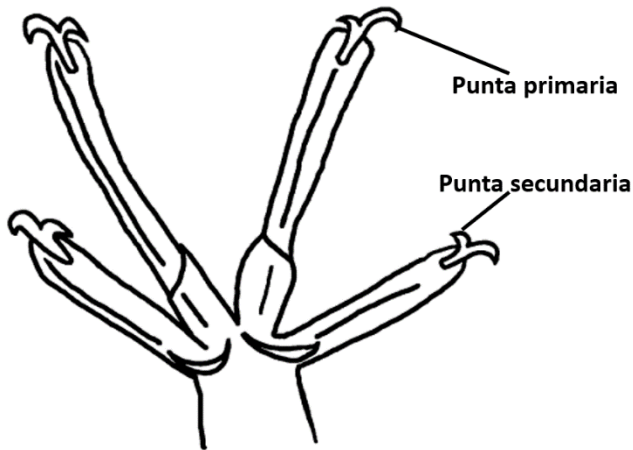


Figura 29. Garras con dos puntas divergentes. Fontoura *et al.*, 2017.

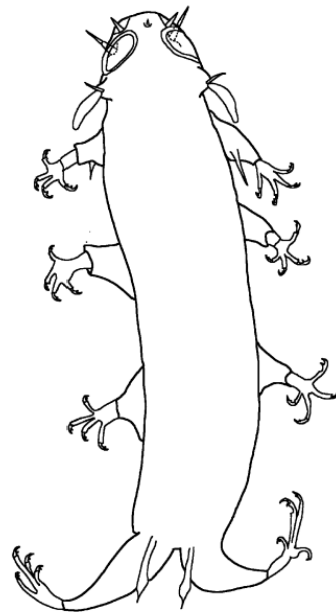


Figura 30. Cuerpo delgado y alargado. Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

- 9a. Clavas primarias en forma de maza e inclinadas hacia adelante; cirros cefálicos compuestos por un cirriforme en un embudo, una vaina basal, una parte principal grande y una parte distal delgada (Fig. 31).....***Euclavarctus***
- 9b. Clavas primarias erguidas y alargadas; cirros cefálicos compuestos por un cirróforo que forma una vaina estrecha, un escapo alargado, anillado en la base, un flagelo bayoneta; cirros medios y laterales más grandes que los cirros internos y externos (Fig. 32).....***Proclavarctus***

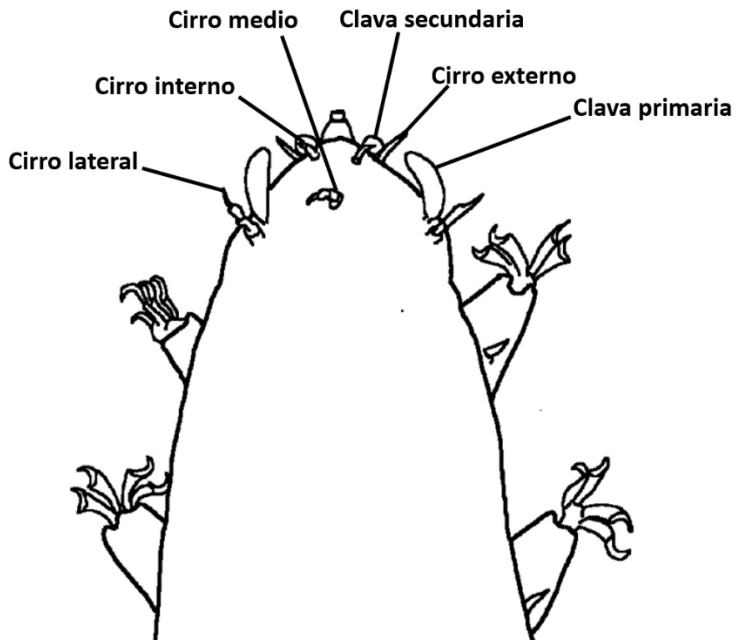


Figura 31. Apéndices cefálicos de *Euclavarctus*.
 Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

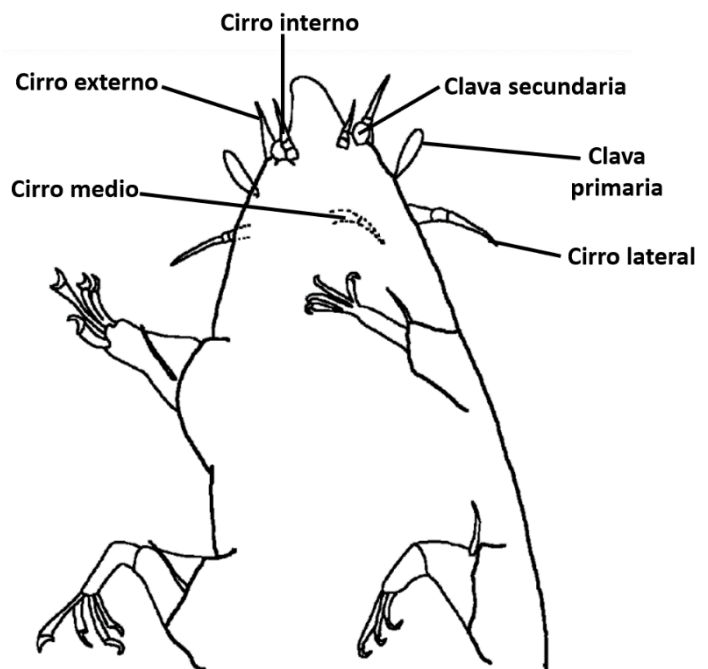


Figura 32. Apéndices cefálicos de *Proclavarctus*.
 Modificada de Fontoura *et al.*, 2017.

Distribución batimétrica

A simple vista, se observa que si existe una relación entre el intervalo de distribución batimétrica y los taxones, es decir, la distribución de cada género se relaciona con determinado intervalo de profundidad. *Tholoarctus* es el que se encontró a menor profundidad con 1,182 m, el inconveniente con este taxón es que solo se cuenta con un ejemplar por lo que no se puede determinar un “intervalo” de distribución. *Coronarctus* se encuentra distribuido entre 2,400-2,822 m de profundidad, *Angursa* presenta un intervalo similar pero más amplio, entre 2,400-3,435 m. El género distribuido a mayor profundidad es *Euclavarctus*, entre 3,564-3739 m. Los intervalos de distribución, así como la profundidad a la que se encontró cada ejemplar se detallan en el cuadro 4.

Los intervalos encontrados en el presente estudio representan un importante aporte ya que se logró ampliar el intervalo de distribución batimétrico conocido para los géneros *Angursa* y *Euclavarctus* en el Golfo de México ya que en comparación con los registros de Romano III (2009) existe una evidente diferencia, *Angursa* contaba con un intervalo entre 763 y 2,020 m, *Euclavarctus* entre 2,635-2,743, en el caso de *Coronarctus* entre 625-3,150 m por lo que coincide con el encontrado, *Tholoarctus* no cuenta con dicho antecedente al ser la primera vez que se registra, en la figura 33 se ilustra dicha distribución conocida y la aportada en el presente estudio.

Cuadro 4. Intervalos de distribución batimétrica de los géneros identificados.

| Género | Ejemplares | Estación | Profundidad (m.) | Intervalo batimétrico (m.) |
|---------------------|-------------------------|----------|------------------|----------------------------|
| <i>Tholoarctus</i> | T008 | B18 | 1,182 | 1,182 |
| <i>Coronarctus</i> | T006 | B11 | 2,400 | 2,400-2,822 |
| | T018 y T020 | F38 | 2,822 | |
| | T005 y T007 | B11 | 2,400 | |
| <i>Angursa</i> | T013 | E33 | 3,435 | 2,400-3,435 |
| | T017 y T019 | TS1 | 2,417 | |
| <i>Euclavarctus</i> | T001 | D29 | 3,564 | 3,564-3,739 |
| | T002, T003, T004, T010, | C23 | 3,739 | |

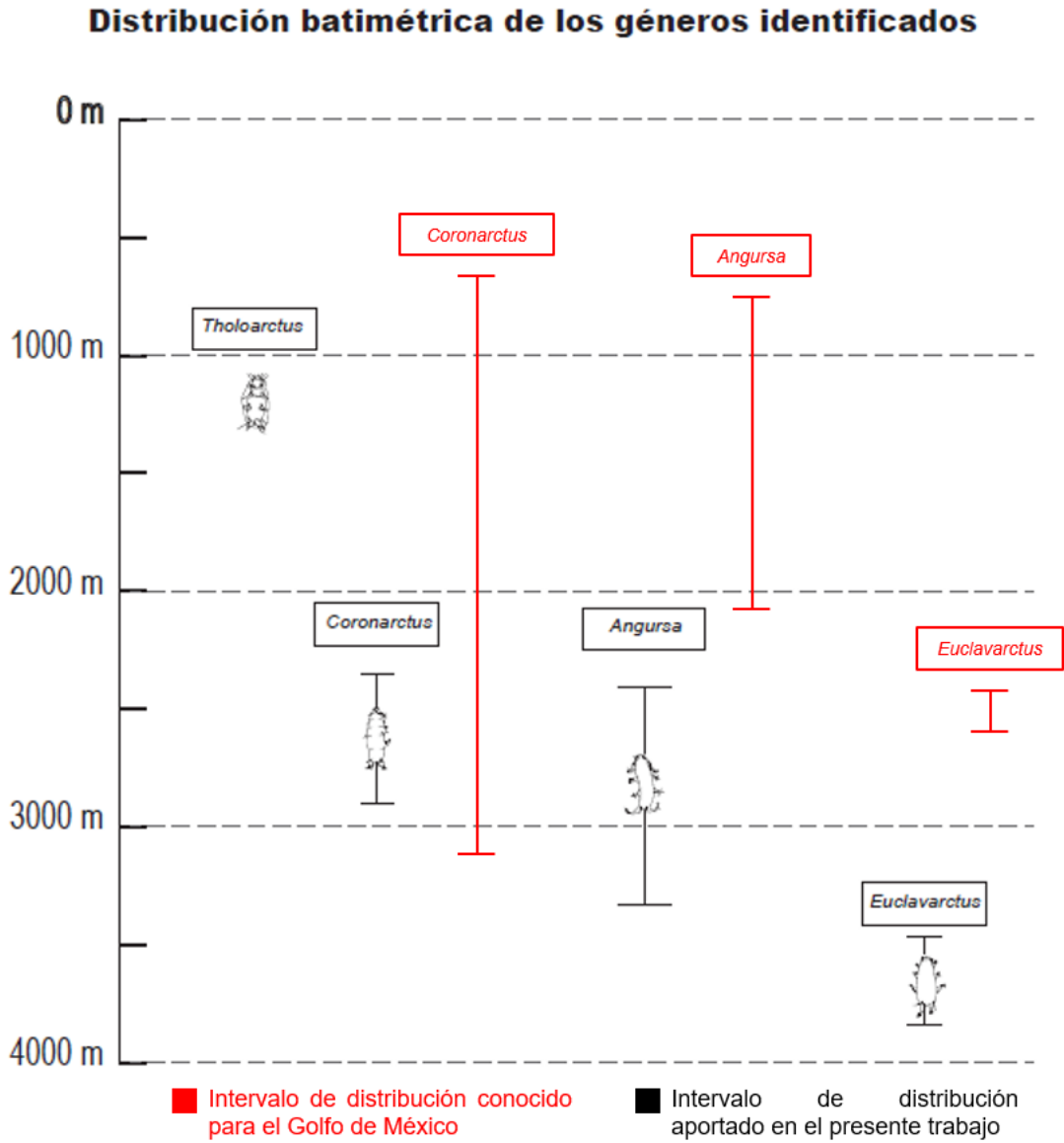


Figura 33. Representación de la distribución batimétrica conocida para los géneros de tardígrados para el Golfo de México. En rojo la distribución conocida y en negro la ampliación de la distribución del presente trabajo.

Para comprobar que existe una diferencia significativa entre en los intervalos de distribución, fue necesario realizar la prueba estadística H de Kruskal Wallis, solamente se consideraron los géneros *Angursa*, *Coronarctus* y *Euclavarctus* debido a que para *Tholoarctus* solo cuenta con un dato de su distribución.

Se tomo como hipótesis nula (H_0) que los intervalos de distribución de los taxones no presentan diferencias significativas, es decir, cada género no cuenta con un intervalo de distribución característico (se acepta si el valor de $p > 0.05$). Se estableció como hipótesis alternativa (H_A) que los intervalos de distribución de los taxones presentaron diferencias significativas, lo que significa que cada género cuenta con un intervalo de distribución característico (se acepta si el valor de $p < 0.05$).

Una vez realizada la prueba en el software RStudio 3.5.1. se obtuvo el valor de $p = 0.001147$ con un valor de estadístico de prueba de 13.54 y 2 grados de libertad (fig. 34), además se elaboró una grafica de caja para observar de mejor manera los intervalos de distribución (fig. 35). El valor de p obtenido de 0.001147 es menor que 0.05 por lo que rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alternativa (H_A) lo que significa que si existe una diferencia significativa entre los intervalos de distribución de los taxones. Aunque no se pudo incluir en el análisis estadístico a *Tholoarctus* (ya que se encontró en una sola muestra) su registro batimétrico es completamente distinto a los demás taxones.

```
RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
Source
Console Terminal x Background Jobs x
R 3.5.1 · D:/
data: Profundidad by Género
Kruskal-wallis chi-squared = 13.54, df = 2, p-value = 0.001147

> setwd(dir="D:")
> datos<- read.table("tardigrada2.csv", sep = ",", header = TRUE, dec = ".")
> datos
  Género Profundidad
1 Coronarctus      2400
2 Coronarctus      2822
3 Coronarctus      2822
4 Angursa          2400
5 Angursa          2400
6 Angursa          2417
7 Angursa          2417
8 Angursa          3435
9 Euclavarctus     3564
10 Euclavarctus    3739
11 Euclavarctus    3739
12 Euclavarctus    3739
13 Euclavarctus    3739
14 Euclavarctus    3739
15 Euclavarctus    3739
16 Euclavarctus    3739
17 Euclavarctus    3739

> str(datos)
'data.frame': 17 obs. of 2 variables:
 $ Género      : Factor w/ 3 levels "Angursa","Coronarctus",...: 2 2 2 1 1 1 1 1 3 3 ...
 $ Profundidad: int 2400 2822 2822 2400 2400 2417 2417 3435 3564 3739 ...

> par(mfrow=c(1,1))
> boxplot(Profundidad ~ Género, data=datos, col=c("green","blue","red"),
+         cex.axis=0.7, las=2, ylab= "Profundidad", xlab="Género", cex.lab=0.75)
> kruskal.test(Profundidad ~ Género, data = datos)

Kruskal-wallis rank sum test

data: Profundidad by Género
Kruskal-wallis chi-squared = 13.54, df = 2, p-value = 0.001147
```

Figura 34. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis realizada en RStudio 3.5.1.

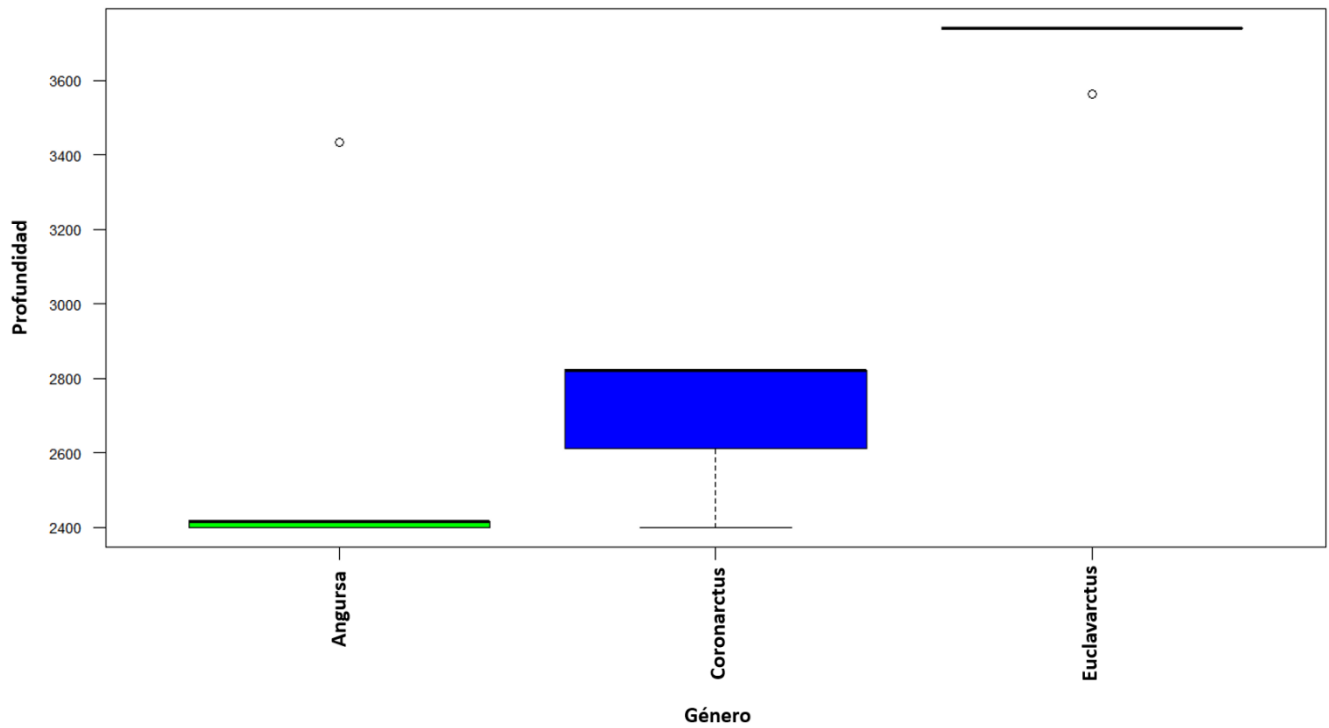


Figura 35. Grafica de caja elaborada en RStudio de los intervalos de distribución batimétrica de *Angursa*, *Coronarctus* y *Euclavarctus*.

DISCUSIÓN

La taxonomía de tardígrados marinos sigue siendo un reto en la actualidad, actualmente se encuentra una serie de problemas en la literatura, específicamente con los diagnósticos taxonómicos que pueden dificultar el proceso de identificación. A partir del presente trabajo se detectó la falta de consenso en la terminología de los caracteres para la identificación por lo que es posible encontrar que autores han utilizado diferentes términos para nombrar las mismas estructuras, también el escaso nivel de detalle (a nivel descriptivo y de ilustraciones) que puede haber en descripciones originales, a nivel genérico y específico. Otro factor importante es que el estado nomenclatural, así como la adición de nueva información taxonómica a las descripciones originales pueden ser difíciles de seguir ya que no existe un listado completo de dichas publicaciones posteriores a la original (Fontoura *et al.*, 2017).

El hecho de identificar un ejemplar de tardígrado marino a nivel de especie, representa un importante desafío, debido a la escasa disponibilidad de herramientas de diagnóstico precisas (Fontoura *et al.*, 2017), por ejemplo no se disponen de claves dicotómicas de identificación a nivel de especie para los, esto conlleva a la necesaria comparación del ejemplar con cada una de las descripciones de especies disponibles del género, o incluso también el revisar el material tipo y así determinar si es similar a algo ya descrito o se trata de una nueva especie, en este sentido en la presente tesis se limitó a identificar los ejemplares a nivel de género, con miras de que posteriormente y con más tiempo se continúe con el trabajo taxonómico de descripción, además, en la medida de lo posible construir claves dicotómicas a nivel específico de los géneros reportados, dichas claves facilitarían en gran magnitud la identificación de ejemplares y podrían ser un aporte importante para que en un futuro se logre construir una clave de identificación a nivel específico para todos los géneros de tardígrados marinos.

De forma general, el enfoque y los esfuerzos de investigación para conocer la biodiversidad mundial se ha centrado mayormente en los sistemas terrestres, como consecuencia, muchos organismos marinos son aún poco conocidos como son la meiofauna en general y los tardígrados marinos en particular, ya que la información sobre su biología, incluida la diversidad de especies y patrones de distribución

geográfica, se consideran deficientes, además de que muchas regiones permanecen sin ser estudiadas (Pérez-Pech *et al.*, 2020c).

Actualmente en México la investigación de los tardígrados marinos está liderada únicamente por Pérez-Pech y colaboradores en ECOSUR por lo que el desarrollo de esta tesis se une al esfuerzo por impulsar el estudio del grupo en el país, esto motivado por una serie de dificultades propias del estudio de grupos como los tardígrados, la dificultad para encontrarlos en las muestras se relaciona con que a menudo se pueden confundir con otros grupos de organismos o simplemente pasan desapercibidos. A esto se le suma el hecho de que no se ha logrado estandarizar la recolecta y el montaje, lo cual se ve reflejado en la literatura, en la cual, al revisar los métodos de colecta, es prácticamente el mismo para la gran mayoría de la meiofauna, es decir no existe una diferencia evidente, a pesar de que los tardígrados marinos exhiben una consistencia corporal más delicada y un menor tamaño (Fujimoto y Jimi, 2020).

En el caso del montaje, la situación es mas compleja ya que no es posible encontrar la descripción de un método específico, esto dificulta en gran medida que personas interesadas en adentrarse en el estudio de estos organismos lo logren desarrollar de la forma más eficiente posible, un mal montaje seguramente dificultaría la identificación y la correcta preservación de los ejemplares en especial si se trata de nuevas especies, de ahí la ventaja e importancia de impulsar la asesoría y colaboración con los pocos expertos del grupo.

Otro rubro importante de mencionar es la identificación, esta se puede llegar a dificultar si no se cuenta con experiencia en el grupo, ya que al pretender observar en los ejemplares todas las características mencionadas en las claves de identificación, varias de éstas se pueden confundir o incluso no observarse, es en este sentido la importancia de contar con el apoyo de algún experto y desde luego contar con el tipo de óptica correcta en los microscopios.

A la fecha, existen pocos datos acerca de tardígrados de aguas profundas a nivel mundial, en el caso particular del Golfo de México hasta el momento solamente se tenía el registro de siete géneros: *Batilipes*, *Euclavarctus*, *Proclavarctus*, *Paradoxipus*, *Coronarctus*, *Angursa* y *Styraconyx* (Pérez-Pech *et al.*, 2020c;

Romano III, 2009). Estos registros comprenden el Golfo de México en su totalidad, es decir, tanto la región norte correspondiente a Estados Unidos de América como la sur (Zona Económica Exclusiva) que corresponde a México. Tres de los cuatro géneros identificados durante el desarrollo de la presente tesis ya habían sido citados en el Golfo de México: *Coronarctus*, *Angursa* y *Euclavarctus*, aunque los dos últimos solo para territorio estadounidense, por lo que representan registros nuevos en territorio mexicano. Respecto a el género *Tholoarctus* se propone como nuevo registro para el Golfo de México.

Otro aporte importante es la ampliación del intervalo de distribución conocido para los géneros *Angursa* y *Euclavarctus* en el Golfo de México, esto refleja una importante falta de conocimiento en taxones ya conocidos para la zona, con este panorama podemos darnos una idea de la gran cantidad de información que aún ignoramos acerca de la distribución de especies de tardígrados marinos en el Golfo de México y en todo el país, además de que como sucede en la mayoría de grupos de organismos desconocidos como este, si se sigue explorando se encontrarán nuevas especies, se obtendrán nuevos registros y se seguirá ampliando el intervalo de distribución de lo que ya se conoce.

CONCLUSIONES

- Se montaron 20 ejemplares de tardígrados, a partir de 9 muestras colectadas en mar profundo durante la campaña XIXIMI-7 en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México
- Se pudieron identificar 18 ejemplares que corresponden a cuatro géneros, pertenecientes a tres familias del orden Arthotardigrada.
- Se propone a los géneros *Angursa*, *Euclavarctus* y *Tholoarctus* como nuevos registros en territorio mexicano, además *Tholoarctus* es registrado por primera vez en el Golfo de México.
- Se amplió el intervalo de distribución batimétrico conocido en el Golfo de México para los géneros *Angursa* y *Euclavarctus*.
- El presente trabajo representa el segundo estudio de tardígrados marinos de mar profundo en México.
- La colaboración con expertos en el grupo es necesaria y muy enriquecedora para impulsar y desarrollar el conocimiento de los tardígrados marinos en México.

REFERENCIAS

- Abe, W. y Takeda, M. (2000). A New *Calcarobiotus* (Tardigrada: Macrobiotidae) from the Imperial Palace of Japan. *Zoological Science*, 17(2): 259-263. Doi: [10.2108/zsj.17.259](https://doi.org/10.2108/zsj.17.259)
- Anguas-Escalante, A., De Jesús, N. A., Demilio, E., Pérez, P. W. y Hansen, J. G. (2020). A new species of Tardigrada from a Caribbean reef lagoon, *Florarctus yucatanensis* sp. nov. (Halechiniscidae: Florarctinae). *Cahiers de Biologie Marine*, 1 (62): 377-385. Doi: [10.21411/CBM.A.CD1B185A](https://doi.org/10.21411/CBM.A.CD1B185A)
- Bartels, P. J., Apodaca, J. J., Mora, C. y Nelson, D. R. (2016). A global biodiversity estimate of a poorly known taxon: phylum Tardigrada. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 178 (4): 730-736. Doi: [10.1111/zoj.12441](https://doi.org/10.1111/zoj.12441)
- Bartels, P. J., Fontoura, P., y 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(1): 43-70. Doi: [10.11646/zootaxa.4420.1.3](https://doi.org/10.11646/zootaxa.4420.1.3)
- Bringemer, J. y Hohberg, K. (2017). An illustrated identification key to the eutardigrade species (Tardigrada, Eutardigrada) presently known from European soils. *SOIL ORGANISMS*, 89 (3): 127-149.
- Cisterna, C., J., Marcelino, B., M., Herguera, J. C. y Rocha, O., A. (2019). Metacommunity analysis of meiobenthos of deep-sea sediments from the Gulf of Mexico. *Marine Biodiversity*, 49: 1217-1231. Doi: [10.1007/s12526-018-0899-0](https://doi.org/10.1007/s12526-018-0899-0)
- Coleman, D. C., Crossley Jr., D. A. y Hendrix, P. F. (2004). 4 - Secondary Production: Activities of Heterotrophic Organisms-The Soil Fauna. En Coleman, D. C., Crossley Jr., D. A. y Hendrix, P. F. (Ed.), *Fundamentals of Soil Ecology*. (Segunda edición) (pp. 79-185). Academic Press. Doi: [10.1016/B978-012179726-3/50005-8](https://doi.org/10.1016/B978-012179726-3/50005-8)
- Degma, P., Bertolani, R. y Guidetti, R. (2022) Actual checklist of Tardigrada species. Doi: 10.25431/11380_1178608. [27-06-2022].

Degma, P. y Guidetti, R. (2018). Tardigrade Taxa - Chapter 15. En Schill, R. O. (Ed.), *Water Bears: The Biology of Tardigrades*. (Vol. 2, pp. 371-409). Zoological Monographs, Springer.

Fontoura, P., Bartels, P. J., Jørgensen, A., Kristensen, R. M. y Hansen, J. G. (2017). A dichotomous key to the genera of the Marine Heterotardigrades (Tardigrada). *Zootaxa*, 4294 (1): 001-045. Doi: [10.11646/zootaxa.4294.1.1](https://doi.org/10.11646/zootaxa.4294.1.1)

Fujimoto, S. y Hansen, C. J. (2019). Revision of *Angursa* (Arthrotardigrada: Styraconyxidae) with the description of a new species from Japan. *European Journal of Taxonomy*, 510: 1-19. Doi: [10.5852/ejt.2019.510](https://doi.org/10.5852/ejt.2019.510)

Fujimoto, S. y Jimi, N. (2020). A new marine tardigrade genus and species (Arthrotardigrada, Styraconyxidae) with unique pockets on the legs. *Zoosyst. Evol.*, 96 (1): 115-122. Doi: [10.3897/zse.96.49676](https://doi.org/10.3897/zse.96.49676)

García, R. J., Dueñas, C. A., Cervantes, E. M., Flores, M. J., Vargas, M. C., Ruiz, E. A., y Armendáriz, T. F. (2022). A Strategy to Provide a Present and Future Scenario of Mexican Biodiversity of Tardigrada. *Diversity*, 14(4): 1-28. Doi: [10.3390/d14040280](https://doi.org/10.3390/d14040280)

Garey, J. R., McInnes, S. J. y Nichols, P. B. (2008) Global diversity of tardigrades (Tardigrada) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595 (1): 101-106. Doi: [10.1007/978-1-4020-8259-7_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8259-7_12)

Hansen, J. G. y Kristensen, R. M. (2020). Tardigrada - Chapter 23. En Schmidt, R. A. (Ed.), *Guide to the Identification of Marine Meiofauna*. (pp. 428-444). Pfeil-Verlag, Munich, Alemania.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). Zona Económica Exclusiva de México. Recuperado de: https://cuentame.inegi.org.mx/hipertexto/zona_economica.htm#:~:text=INEGI,Zona%20Econ%C3%B3mica%20Exclusiva&text=Franja%20de%20mar%20contigua%20al,de%20costa%20continental%20e%20insular.

Jørgensen, A., Boesgaard, T. M., Møbjerg, N. y Kristensen, R. M. (2014). The tardigrade fauna of Australian marine caves: With descriptions of nine new species of Arthrotardigrada. *Zootaxa* 3802 (4): 401–443. Doi: [10.11646/zootaxa.3802.4.1](https://doi.org/10.11646/zootaxa.3802.4.1)

Kristensen, R. M. (1984). On the biology of *Wingstrandarctus corallinus* nov. gen. et spec., with notes on the symbiotic bacteria in the subfamily Florarctinae (Arthrotardigrada). *Videnskabelige Meddelelser Naturhistorisk Forening*, 145: 201-218.

León, G. A. (2018). Taxonomía de tardígrados (Tardigrada: Eutardigrada: Heterotardigrada) de musgo en localidades selectas del Noreste de México. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Nuevo León, México. Recuperado de: http://www.fcb.uanl.mx/nw/images/stories/tesis/Gisela_Aramiriam_Leon_Espinosa.pdf

Love, M. S., Baldera, A., Yeung, C. y Robbins, C. (2013). *The Gulf of Mexico Ecosystem: A Coastal and Marine Atlas*. New Orleans, LA: Ocean Conservancy, Gulf Restoration Center.

Nelson, D. R., Guidetti, R. y Rebecchi, L. (2010). Chapter 14: Tardigrada. En Thorp, J. H. y Covich, A. P. (Eds.), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. (pp. 455-484). Academic press: tercera edición. Doi: [10.1016/B978-0-12-374855-3.00014-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374855-3.00014-5)

Nelson, D.R., Guidetti, R. y Rebecchi, L., (2015). Phylum Tardigrada. En: Thorp, J., Rogers, D.C. (Eds.), *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates* (pp. 347-380). Academic Press: volumen 1. Doi: [10.1016/B978-0-12-385026-3.00017-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385026-3.00017-6)

Pérez-Pech, W., Anguas, E. A., Cutz, P. L. y Guidetti., R. (2017). *Doryphoribius chetumalensis* sp. nov. (Eutardigrada: Isohypsibiidae) a new tardigrade species discovered in an unusual habitat of urban areas of Mexico. *Zootaxa*, 4344(2): 345-356.

Pérez-Pech, W., Anguas, E. A., De Jesús, N. A. y Hansen, J. G. (2018). Primer registro genérico de tardígrados marinos en costas de Quintana Roo, México. *Academia Journals*, 10 (4): 1909-1912.

Pérez-Pech, W., De Jesús, N. A., Demilio, E., Anguas, E. A. y Hansen, J. G. (2020a). Marine Tardigrada from the Mexican Caribbean with the description of *Styraconyx robertoi* sp. nov. (Arthrotardigrada: Styraconyxidae). *Zootaxa*, 4731(4): 492-508. Doi:[10.11646/zootaxa.4731.4.3](https://doi.org/10.11646/zootaxa.4731.4.3)

Pérez-Pech, W., Guidetti, R., Anguas, E. A., y Cutz, P. L. (2020b). Ositos de agua: generalidades, origen, evolución y su estado de conocimiento en México. *BIODIVERSITAS*, 150: 7-11.

Pérez-Pech, W., Hansen, J. P., DeMilio, E., De Jesús, N. A., Mendoza I. M., Olivares, A. R., Vargas, E. A. (2020c). First records of marine tardigrades of the genus *Coronarctus* (Tardigrada, Heterotardigrada, Arthrotardigrada) from Mexico. *Check List*, 16 (1): 1-7. Doi: [10.15560/16.1.1](https://doi.org/10.15560/16.1.1)

Peters, E. M., Zaragoza, A. R., Herzka, S. Z., y Herguera G. J. (Eds.) (2021). Introducción. En Herzka, S. Z., Zaragoza, A. R, Peters, E. M. y Hernández C. G. (Coord. Gral.). Atlas de línea base ambiental del golfo de México, México: Consorcio de Investigación del Golfo de México.

Renaud, D. J. (1959). Etudes sur la faune interstitielle des Iles Bahamas. III. Tardigrades. *Vie et Milieu*, 10: 297-302.

Romano III, F. (2009). Tardigrada of the Gulf of Mexico - Chapter 42. En Felder, D. L. y Camp, D. K. (Eds.), *Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota*. (pp. 809-813). Biodiversity: volumen 1, primera edición.

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 Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 49 (S1): 48-52.

Schulz, E. (1955) Studien an marinen Tardigraden. *Kieler Meeresforschungen*, 11: 73-79

Trygvadóttir, B., V. y Kristensen, R., M. (2011). Eohypsibiidae (Eutardigrada, Tardigrada) from the Faroe Islands with the description of a new genus containing three new species. *Zootaxa*, 2886 (1): 39-62. Doi: [10.11646/zootaxa.2886.1.4](https://doi.org/10.11646/zootaxa.2886.1.4)

Turner, R., E. y Rabalais, N. N. (2019). Chapter 18 The Gulf of Mexico. En Sheppard, C. R. (Ed.), *World Seas: An Environmental Evaluation, Volume 1 Europe, The Americas and West Africa*. (445-464). Academic Press.