



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA

**Comparación de las comunidades de microcrustáceos bénticos (Crustacea:  
Ostracoda y Cladocera) de ecosistemas acuáticos epicontinentales del  
estado de Quintana Roo, México**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:  
BIÓL. NORMA FERNANDA CHARQUEÑO CELIS

Director de Tesis:  
Dra. Liseth Pérez Alvarado  
[Instituto de Geología, UNAM](#)

Comité tutorial:

Dr. Alexander Correa-Metrio  
[Instituto de Geología, UNAM](#)  
Dr. Manuel Elías-Gutiérrez  
[El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal](#)  
Dra. Margarita Hermoso Salazar  
[Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad](#)  
Dr. Eduardo Suárez Morales  
[El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal](#)  
Dr. Mark Brenner  
[University of Florida, E.U.](#)

CD.MX. Junio 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*  
Universidad Nacional Autónoma de México



**“Comparación de las comunidades de microcrustáceos bénticos  
Crustacea: Ostracoda y Cladocera) de ecosistemas acuáticos  
epicontinentales del estado de Quintana Roo, México”**

**T E S I S**

que para obtener el grado académico de

**Maestra en Ciencias  
(Limnología)**

presentada

**BIÓL. NORMA FERNANDA CHARQUEÑO CELIS**

Tutor principal: Dra. Liseth Pérez Alvarado  
Comité tutorial: Dr. Alexander Correa-Metrio  
Dr. Manuel Elías-Gutiérrez  
Dra. Margarita Hermoso Salazar  
Dr. Eduardo Suárez Morales  
Dr. Mark Brenner

CD.MX., México, Junio 2017

...SOMETHING HAS CHANGED WITHIN ME  
SOMETHING IS NOT THE SAME  
I'M THROUGH WITH PLAYING BY  
THE RULES OF SOMEONE ELSE'S GAME  
TOO LATE FOR SECOND-GUESSING  
TOO LATE TO GO BACK TO SLEEP  
IT'S TIME TO TRUST MY INSTINCTS  
CLOSE MY EYES  
AND LEAP

**IT'S TIME TO TRY DEFYING GRAVITY**

I THINK I'LL TRY DEFYING GRAVITY  
AND YOU CAN'T PULL ME DOWN

**wicked**

# DEDICATORIA

Cada etapa de la vida es un ciclo lleno de aventuras y misterios, que si bien, como todo lo desconocido puede ser aterrador e intimidante, en el camino descubres que cada faceta trae aprendizaje y satisfacciones personales que en ocasiones, son la mejor recompensa de todo sacrificio y esfuerzo. Esta tesis es un ejemplo físico de una de las etapas más interesantes de mi vida, que se la quiero dedicar a todas aquellas personas que han estado a mi lado desde mucho antes que pusiera un pie en el camino de la ciencia, así como aquellas, que en el camino se han convertido en colegas y amigos.

A mi padre por su apoyo incondicional en más de una forma, que durante estos dos años (en compañía de Taquito y Tabata) me ha guiado por los mejores caminos. A mi mamá (pato momó) quien desde donde este me cuida, protege y guía. A mi abuelita quién a sus años, lo único que no olvida es darme un beso para un buen día. A mis tios Elvia y Hector, que, sin importar la circunstancia, estan dispuestos a brindar una mano o solo una sonrisa. A mi prima Sofí, de quién espero descubra el mundo tán maravilloso que yo he conocido. Así mi tío José Luís y fam. quienes han sido un apoyo imprescindible. A mi madrina Claudia y mis casi-primas en quienes encontré una segunda familia. A toda la fam. Celis.

A mi familia espiritual Pilar, Diego, Alán, Martha, Mimí, Mateo y mi sirenita Gaby. Gracias por enseñarme a cumplir mis sueños, aquí uno más, que doy en ofrenda al carisma que ustedes me enseñaron. A mis amigos de vida, Marlene, Gio, Jas, Luis y Cris, que tras muchos años nos hemos visto crecer y convertirnos de niños de una banca a adultos (con madurez dudosa). A mis amigos de carrera, Auro, Lau, Carlos, Penelope, Viri, Yas y Lucy, quienes hemos derramado las mismas lagrimas y risas por el amor a la ciencia. A los que desde el inicio me han guiado y enseñado Maggy, Ale y Elis cuyas enseñanzas llevo día a día. A quien se convirtió en mi amiga siempre dispuesta a escucharme o sólo desahogarme, gracias Tete, porque a pesar de las circunstancias seguimos juntas y unidas. Así como a Viole, quien ni la distancia ha sido capáz de alejarnos

A mis colegas y amigos del laboratorio, Anaís, Pam, Mau, Mon, Martín Karla y Azalaea por aguantar dramas locuras e histerias. Así como a Ceci, Esme, Felipe, Melvi y Mine por los buenos momentos e incluso comentarios y sugerencias en este escrito. A todo el equipo del paleolab por su apoyo y excelente ambiente de trabajo. A quien se convirtió en mi compañera en este camino, con quien en poco tiempo he recorrido el mundo, compartido momentos inigualables y experiencias únicas; Pau gracias por abrirme las puertas de tu casa, y de tu vida. Por soportar cada drama, por cada “Vamos Pues” y por cada “Plan” que hemos tenido. Sabemos que hasta este punto es incierto el camino, lo único seguro es que siempre seras Mi LUPITA.

A Lis, quien ha sido la responsable de llevarme por este camino. Gracias por enseñarme nuevos mundos, por aceptarme desde el principio y por aguantarme cada día en cada locura, por compartir cada uno de tus logros y triunfos conmigo. Por brindarme la confianza y hacerme crecer como ni yo me creí capáz de lograrlo. Como un día te lo dije, lo repito “LA AVENTURA NOS AGUARDA”, y sin importar lo que venga en el camino. Aún tenemos muchos éxitos que cumplir.

Finalmente, quiero dedicar todo mi esfuerzo y éxitos alcanzados a mi alma matter la UNAM que me ha dado los mejores profersores, amigos y todo lo necesario durante ya 12 maravillosos años.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la máxima casa de estudios Universidad Nacional Autónoma de México, así como al posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por brindarme la mejor formación durante mi desarrollo académico. Asimismo, al Instituto de Geología por permitirme utilizar sus instalaciones durante la elaboración de este trabajo.

La realización de este estudio no hubiera sido posible sin el financiamiento otorgado por el proyecto Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, SCHW 671/16-1), así como al proyecto CONACYT (190519) y el proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT (PAPIIT IA100317) (dirigido por la tutora principal), el cual además me otorgó una beca por obtención de grado.

De la misma forma expresar mi gratitud al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado durante los dos años de la elaboración de mi maestría. Además de la aprobación de dos becas mixtas durante los periodos 2016-1 y 2017-1, que junto con el Programa de Apoyos Económicos del Posgrado de la UNAM (PAEP), me permitieron realizar las estancias en Chetumal, Quintana Roo, México y Braunschweig, Alemania, que fueron una gran aportación al desarrollo de mi tesis. Así como al personal administrativo del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología.

Agradezco a los equipos de trabajo del Laboratorio de Zooplancton en el Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal, y "Institut für Geosysteme und Bioindikation" en el Technische Universität, Braunschweig (TU - Braunschweig), Alemania. Principalmente a los Dres. Manuel Elías (ECOSUR) y Antje Schwalb (TU - Braunschweig), responsables de los laboratorios por sus atenciones brindadas durante la realización de dichas estancias.

Por otro lado, al Laboratorio del Instituto de Geofísica por el análisis de la composición iónica del agua de los sitios muestreados. A la M. en C. María Berenit Mendoza Garfias por la toma de fotografías de microscopía Electrónica de Barrido en el Instituto de Biología.

A los M. en C. Laura Macario y Sergio Cohuo, quienes además de encabezar los muestreos, me brindaron tanto el material, como la información base para la elaboración de este trabajo, así como por sus valiosos consejos y recomendaciones. También a la Dra. Bárbara Moguel por su tiempo y dedicación en la revisión y correcciones del presente manuscrito.

Por su disponibilidad y valiosas aportaciones brindadas a lo largo de estos años, quiero agradecer de forma muy particular a mi comité tutorial conformado por el Dr. Manuel Elías, la Dra. Margarita Hermoso, el Dr. Mark Brenner y al Dr. Eduardo Suárez. De manera muy especial, expresar mi reconocimiento y gratitud al Dr. Alexander Correa por sus consejos y aportaciones no sólo en la parte estadística, sino en todo mi desarrollo académico.

Finalmente, a mi asesora la Dra. Liseth Pérez, piedra angular de este trabajo. Quien me brindó una oportunidad, y me otorgó toda su confianza y conocimiento, que fueron las herramientas base para el desarrollo y conclusión del presente trabajo.

# CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Resumen.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>Introducción.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Antecedentes.....</b>  | <b>6</b>  |
| Cladóceros.....   | 6         |
| Ostrácodos.....   | 8         |
| <b>Justificación.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>Objetivos.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>Área de estudio.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>Material y Método.....</b>   | <b>15</b> |
| Trabajo de campo.....   | 15        |
| Trabajo de laboratorio.....   | 16        |
| Trabajo de gabinete.....  | 17        |
| Análisis de datos.....  | 18        |
| <b>Resultados.....</b>  | <b>21</b> |
| Parámetros limnológicos de ecosistemas acuáticos del estado de Quintana Roo en agosto 2013..... | 21        |
| Densidades de ambos grupos (cladóceros y ostrácodos) por sitio.....                             | 26        |
| Cladóceros.....   | 27        |
| Sistemática.....  | 27        |
| Riqueza específica y diversidad.....  | 29        |
| Densidad.....   | 33        |
| Relación de las variables ambientales con las especies de cladóceros.....                       | 33        |
| Ostrácodos.....   | 35        |
| Sistemática.....  | 35        |
| Riqueza específica y diversidad.....  | 38        |
| Densidad.....   | 42        |
| Relación de las variables ambientales con las especies de ostrácodos.....                       | 42        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Discusión.....</b>   | <b>44</b> |
| 1. Parámetros limnológicos que diferencian entre los ecosistemas acuáticos muestreados en el sureste del estado de Quintana Roo: composición iónica y pH.....         | 44        |
| 2. Riqueza específica y composición de las comunidades de cladóceros y ostrácodos en el litoral de los ecosistemas acuáticos del sureste de Quintana Roo.....         | 45        |
| 3. Relación de la composición iónica y pH con las densidades y preferencias ecológicas de las especies de cladóceros y ostrácodos en los ecosistemas muestreados..... | 48        |
| 4. El uso de los cladóceros y ostrácodos como (paleo) bioindicadores.....   | 52        |
| <b>Conclusiones.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>Bibliografía.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>Anexo.....</b>   | <b>65</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1. Mapa de distribución de las especies de cladóceros reportadas para la Península de Yucatán.....   | 8  |
| Fig. 2. Mapa de distribución de las especies de ostrácodos reportadas para la Península de Yucatán.....   | 10 |
| Fig. 3. Ecosistemas acuáticos muestreados durante agosto 2013 en el estado de Quintana Roo, México. ....  | 16 |
| Fig. 4. Interpretación del diagrama ternario para el análisis de la diversidad $\beta$ .....  | 20 |
| Fig. 5. Análisis de Coordenadas principales No Métrico de los sitios muestreados de acuerdo a sus variables ambientales.....  | 25 |
| Fig. 6. Densidad total de organismos por sitio muestreado.....  | 26 |
| Fig. 7. Fotografías de microscopía electrónica de los cladóceros recolectados en los ecosistemas acuáticos de Quintana Roo.....   | 28 |
| Fig. 8. Curva de acumulación de especies de los cladóceros.....   | 29 |
| Fig. 9. Diagrama ternario de la diversidad beta ( $\beta_w$ ) de cladóceros. ....   | 31 |
| Fig. 10. Riqueza específica, diversidad y densidad de las especies de ostrácodos en 11 cuerpos acuáticos muestreados del estado de Quintana Roo.....  | 33 |
| Fig. 11. Diagrama de ordenación de las especies de cladóceros de los lagos del estado de Quintana Roo a partir de un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA, por sus siglas en inglés)..... | 34 |
| Fig. 12. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de las valvas de ostrácodos de Quintana Roo.....   | 37 |
| Fig. 13. Curva de acumulación de especies de los ostrácodos.....  | 38 |
| Fig. 14. Diagrama ternario de la diversidad beta ( $\beta_w$ ) de los ostrácodos del sureste de Quintana Roo.....   | 40 |
| Fig. 15. Riqueza específica, diversidad y densidad de las especies de ostrácodos en 11 cuerpos acuáticos muestreados en el estado de Quintana Roo.....  | 41 |
| Fig. 16. Diagrama de ordenación de las especies de ostrácodos de los lagos del estado de Quintana Roo a partir de un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA, por sus siglas en inglés)..... | 43 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Parámetros ambientales de la zona litoral de ecosistemas acuáticos epicontinentales de Q. Roo..... | 23 |
| Tabla 2. Composición química de aguas superficiales ecosistemas acuáticos epicontinentales de Q. Roo.....   | 25 |
| Tabla 3. Densidad por cada grupo en los sitios muestreados.....   | 26 |
| Tabla 4. Frecuencia de las especies de cladóceros entre los sitios. ....                                    | 30 |
| Tabla 5. Número de especies de cladóceros compartidas entre los sitios.....                                 | 31 |
| Tabla 6. Número de especies de cladóceros que no se comparten entre sitios.....                             | 31 |
| Tabla 7. Frecuencia de las especies de ostrácodos entre los sitios.....                                     | 39 |
| Tabla 8. Número de especies de ostrácodos compartidas entre los sitios muestreados...                       | 40 |
| Tabla 9. Número de especies de ostrácodos que no se comparten entre sitios.....                             | 40 |

## RESUMEN

Debido a su geohidrología, el estado de Quintana Roo cuenta con diversos ecosistemas acuáticos con una alta variabilidad ambiental. Estos ambientes son el hábitat de una gran diversidad de especies acuáticas, entre ellas los crustáceos cladóceros y ostrácodos, los cuales dada su relación con las variables ambientales son utilizados como (paleo) bioindicadores. Sin embargo, para lograr dichos trabajos es fundamental evaluar las comunidades actuales, lo que facilita la interpretación de cambios observados en las comunidades de dichos ecosistemas. Esta información aún es muy escasa en la región Neotropical. En este estudio, se compararon las comunidades de cladóceros y ostrácodos de los lagos de 11 sitios ubicados en la zona centro y sur del estado de Quintana Roo, México. Siendo el objetivo principal, evaluar la relación entre la riqueza y distribución de las especies con las variables ambientales características de cada sitio. La metodología consistió en obtener muestras de sedimento con una draga tipo Ekman en la zona litoral de cada sistema, midiendo *in situ* la temperatura, conductividad, salinidad, y pH. Además, la composición iónica de aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) y cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$ ) de cada sistema fue analizada posteriormente en el laboratorio. De cada muestra de sedimento húmedo se tomaron 40  $\text{cm}^3$ , separando e identificando los cladóceros y ostrácodos. Dentro de los resultados obtenidos, el modelo de escalamiento no métrico (NMDS) demostró con un stress de 0.02, que la principal variable ambiental que relaciona a los sitios fue la conductividad, agrupando principalmente a los sitios de Chichancanab, Bacalar y Encantada, esto, además, se asoció con la concentración de sulfatos en el agua, evidenciando la complejidad hidrogeoquímica de la Península de Yucatán. En cuanto a la composición biológica de los sistemas, se cuantificaron un total de 1,729 individuos. El grupo con mayor densidad fueron los ostrácodos (1,201 ind.), en contraste los cladóceros fueron más escasos (528 ind.). En el sitio de Emiliano Zapata, se observó la mayor densidad de organismos totales (556 ind./40  $\text{cm}^3$ ). Los sitios de Chacabacab y Encantada se diferenciaron del resto debido a que el 70% de la comunidad fueron cladóceros. En cuanto a la riqueza específica, se identificaron 33 especies, registrando más especies de ostrácodos (17 spp.) en contraste con los cladóceros (16 spp.). La curva de acumulación de especies demostró que, para obtener una representación más completa de especies, se requiere incrementar el esfuerzo de muestreo en la región. El índice de Whittaker, indicó que las comunidades de cladóceros y ostrácodos no están homogéneamente distribuidas. Se identificaron sitios con alta diversidad de cladóceros como Chacabacab (2.4 bits/ind.), mientras que Miguel Hidalgo registró la menor diversidad al solo reportar la especie *Macrothrix elegans*. En cuanto a ostrácodos, Chichancanab registró la máxima diversidad (2.1 bits/ind.), por el contrario, la más baja se encontró en Emiliano Zapata (0.4 bits/ind.). Las especies más frecuentes y con mayor densidad fueron *M. elegans* (cladóceros) y *Cypridopsis vidua* (ostrácodo). El análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) demostró que la heterogeneidad entre sitios se relaciona con las preferencias ecológicas de las especies. Se observó que el cladóceros *M. elegans* se distribuye en sitios con mayor presencia de carbonatos y de pH variable. Por otra parte, los ostrácodos *Heterocypris putei* y *Cypria petenensis* se asociaron con sitios que presentaron alto contenido de carbonatos, mientras que *Limnocythere floridensis* se asoció con alto contenido de sodio. Con este estudio se puede concluir que las comunidades de cladóceros y ostrácodos del centro-sureste del estado de Quintana Roo tienen relación con algunas variables ambientales de los lagos. Identificando especies que se relacionaron principalmente a la composición iónica y el pH de los ecosistemas. Asimismo, se podría considerar como el primer estudio de la región en comparar, con información cuantitativa, a las comunidades de cladóceros y ostrácodos presentes en bentos lacustres de Quintana Roo. De forma paralela, se aporta información limnológica de ecosistemas no analizados con anterioridad. Finalmente, los resultados obtenidos aportan información para utilizar a estos grupos como (paleo) bioindicadores de los ecosistemas acuáticos en esta región.

PALABRAS CLAVE: Microcrustáceos, Ostrácodos, Cladóceros, Quintana Roo, Composición iónica, pH

## ABSTRACT

The state of Quintana Roo, SE México, has a large number of aquatic ecosystems that display a wide range of limnological conditions because of the region's complex hydrogeology. The aquatic environments here are habitats for a large variety of taxa, including many species of crustaceans, including ostracodes and cladocerans. These organisms leave microfossil remains in the lake sediments, which can be used as bioindicators of past limnological conditions. The utility of these microfossils as paleoenvironmental indicators is predicated on knowledge of the ecological requirements of each taxon in modern communities. More work must be done on the ecology of these crustacean groups in the Neotropical region. In this study, cladoceran and ostracode communities were compared across 11 lakes in central and southern Quintana Roo. The principal aims were to assess the relation between species richness and relative abundances, and limnological variables at each site. Sediment samples were obtained with an Ekman dredge from the littoral zone of each aquatic system. Temperature, conductivity, salinity and pH were measured *in situ*. Concentrations of anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) and cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  and  $\text{Na}^+$ ) in water samples were measured in the laboratory. Cladocerans and ostracodes in 40-cm<sup>3</sup> samples of wet sediment were isolated and identified. A non-metric multidimensional scaling (NMDS) model with 0.02 of stress indicated that conductivity was the principal variable that related the sites. Lakes Chichancanab, Bacalar and Encantada clustered together by virtue of their high sulfate concentrations, and reflect the hydrogeochemical complexity of the Yucatan Peninsula. We quantified a total of 1,729 crustacean individuals, including 1,201 ostracodes and 528 cladocerans. The greatest density was found at the Emiliano Zapata site, where we counted 556 individuals/40 cm<sup>3</sup>. Lakes Chacabacab and Encantada were different from the rest because 70% of their communities were composed of cladocerans. We identified a total of 33 species, registering 17 species of ostracodes and 16 species of cladocerans. The species accumulation curve indicated that to get a complete representation of species, it is necessary to increase sampling effort in the region. The Whittaker Index showed that the cladoceran and ostracode communities are not distributed homogeneously. We identified Chacabacab (2.4 bits/ind.) as a site with high cladoceran diversity, whereas Miguel Hidalgo had low diversity, with only a single species, *Macrothrix elegans*. With respect to ostracodes, Chichancanab registered the highest diversity (2.1 bits/ind.), whereas Emiliano Zapata had the lowest diversity (0.4 bits/ind.). The most frequently encountered cladoceran species, with the highest density, was *M. elegans*, and *Cypridopsis vidua* was the most common and abundant ostracode. Detrended correspondence analysis (DCA) showed that the high heterogeneity among the sites is related to the diverse ecological preferences of the species. For instance, the cladoceran *M. elegans* is distributed in sites with high amounts of carbonate and variable pH. The ostracodes *Heterocypris putei* and *Cypria petenensis* were associated with high concentrations of carbonates, whereas *Limnocythere floridensis* was found in systems with high concentrations of sodium. We concluded that the cladoceran and ostracode communities of central and southeastern Quintana Roo reflect the limnological conditions in the lakes where they are found. This is the first study to compare the cladoceran and ostracode communities in the benthos of Quintana Roo's aquatic ecosystems. This investigation was also the first to gather limnological information on ecosystems that had never been studied before. Results obtained in this study will enable the use of these crustacean taxa as (paleo) bioindicators in future paleolimnological studies of aquatic ecosystems in the region.

KEYWORDS: Microcrustaceans, Ostracodes, Cladocerans, Quintana Roo, Ionic composition, pH

## 1. INTRODUCCIÓN

Aproximadamente en un 20 al 25% de la plataforma continental a nivel mundial se encuentran formaciones de rocas muy porosas y con una alta solubilidad, las zonas con este tipo de rocas reciben el nombre de regiones kársticas (Ford & Williams, 2007). En México se encuentra uno de los acuíferos kársticos más extensos y espectaculares del planeta. El sistema acuífero transfronterizo de la Península de Yucatán se extiende sobre un área de aproximadamente 165,000 km<sup>2</sup> abarcando los países de México, Guatemala y Belice (Bauer-Gottwein *et al.*, 2011). El origen kárstico de esta península y sus características geológicas ocasiona que en gran parte del territorio el recurso hídrico sea subterráneo; además la escorrentía y el drenaje prácticamente no existe; sin embargo, se ha observado que la porción sureste de la Península de Yucatán es la excepción (Bauer-Gottwein *et al.*, 2011).

Esta zona del territorio mexicano, representada principalmente por el estado de Quintana Roo, cuenta con una gran diversidad de ecosistemas acuáticos epicontinentales como lagunas, aguadas, cenotes, ríos entre otros (Gaona-Vizcayno *et al.*, 1980; Alcocer & Bernal-Brooks, 2010; Bauer-Gottwein *et al.*, 2011), con diversas características hidrogeoquímicas (Pérez *et al.*, 2012). Estos ecosistemas acuáticos funcionan como hábitat para una gran diversidad de especies acuáticas. En estos ambientes es posible encontrar desde bacterias, microalgas, y protozoarios, hasta organismos de mayor tamaño como macrofitas, invertebrados y vertebrados (Pearse *et al.*, 1936; Iliffe, 2000; Schmitter-Soto *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2013).

Se ha observado que el grupo de invertebrados más común en los ambientes acuáticos epicontinentales son los crustáceos, con gran variedad de tamaños y formas. Los más comunes en el bentos son aquellos, que en diversos estudios por su tamaño, se les ha llamado microcrustáceos (Dole-Olivier *et al.*, 2000; Covich *et al.*, 2010). En este estudio se define como microcrustáceo a aquellos crustáceos que por lo general no alcanzan tallas mayores a 8 mm en su forma adulta y suelen ser representados principalmente por los grupos de ostrácodos, cladóceros y copépodos en los ambientes acuáticos epicontinentales. Sin embargo, cabe señalar que existen especies de estos grupos que pueden presentar tamaños más grandes, sin embargo, pocas veces mayores de 1 cm (Davenport, 1990; Olesen *et al.*, 2003).

Los cladóceros son crustáceos pertenecientes a la clase Branchiopoda, que por lo general presentan un tamaño muy pequeño que van de 0.2 a 6 mm. Una característica taxonómica sobresaliente es la presencia de un caparazón bivalvo que cubre principalmente al tórax y el abdomen. Además, presentan un par de antenas, anténulas, estructuras bucales y apéndices torácicos denominados toracópodos con funciones respiratorias o filtradoras, así como un postabdomen (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008). Los cladóceros habitan principalmente en cuerpos acuáticos de agua dulce, aunque existen especies marinas. A lo largo de la columna de agua, es posible encontrarlos tanto en las comunidades zooplanctónicas como bénticas (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008; Forró *et al.*, 2008). Si bien a estos crustáceos se les ha relacionado principalmente con las comunidades zooplanctónicas, se ha registrado que las formas planctónicas conforman menos de la mitad de las especies de cladóceros registradas a nivel mundial (Kotov, 2006). Se ha reportado que es posible encontrar una mayor diversidad de cladóceros en el fondo de la zona litoral de los ecosistemas acuáticos, pues se encuentran formas propiamente bénticas que se entierran entre el sedimento, y especies que viven en el litoral de los ecosistemas acuáticos principalmente asociados a las vegetaciones acuáticas sumergidas (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008; Forró *et al.*, 2008; Kotov, 2006).

La clase Ostracoda se caracteriza por ser pequeños crustáceos bivalvos con caparazón calcificado, el cual cubre completamente un cuerpo reducido que se divide en cabeza, tórax y abdomen. Al igual que los cladóceros, presentan un par de antenas, anténulas, estructuras bucales y apéndices torácicos denominados toracópodos y un apéndice llamado furca, además de apéndices copulatorios (Karanovic, 2012). Habitan en ambientes marinos, salobres y dulceacuícolas. En los ambientes epicontinentales es muy común encontrarlos en las comunidades bénticas, además algunas especies están estrechamente relacionadas con la vegetación acuática (Martens *et al.*, 2008).

### **Los cladóceros y ostrácodos como bioindicadores**

El término bioindicador se refiere a organismos útiles para determinar la presencia o ausencia de determinadas condiciones ambientales que no se pueden medir con facilidad en el ambiente (Payne, 2013). Cuando estos organismos poseen características morfológicas que se conservan en el sedimento y se encuentran en el registro fósil, se les conoce como paleobioindicadores.

Una característica que comparten los cladóceros y los ostrácodos, es que ambos son considerados bioindicadores, ya que responden a diferentes variables ambientales, contaminantes e incluso alteraciones provocadas por el hombre (Dole-Olivier *et al.*, 2000; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008; Jeppesen *et al.*, 2001). Además, las valvas y caparazones de ambos tipos de crustáceos, así como estructuras morfológicas de los cladóceros, como el postabdomen, pueden encontrarse con buen grado de preservación en el sedimento lo cual facilita su identificación y los convierte en excelentes paleobioindicadores (Dole-Olivier *et al.*, 2000; Jeppesen *et al.*, 2001).

En la Península de Yucatán, el estudio ecológico de estos organismos como bioindicadores es aún escaso. Quizá uno de los trabajos pioneros en el estudio de bioindicadores de la región Neotropical es el de Pérez *et al.* (2013), el cual se desarrolló a escalas geográficas muy grandes, lo que permitió describir un gran número de ecosistemas acuáticos epicontinentales. Actualmente se lleva a cabo el proyecto "Effects of Abrupt Climate Change on the Ice Age Ecosystem of Lake Petén Itzá and on Distribution Patterns of Ostracodes across the Yucatán Peninsula," financiado por la Fundación Alemana de Investigación Científica (DFG, por sus siglas en alemán). El objetivo principal es analizar las consecuencias del cambio climático en la estabilidad de los ecosistemas acuáticos, a través del tiempo y su relación en la paleobiogeografía de la Península de Yucatán, usando como bioindicadores a los ostrácodos. Como parte de este proyecto, se desarrolló el presente estudio, el cual brinda una visión a una escala local (el centro-sur del estado de Quintana Roo) sobre el conocimiento de las comunidades de cladóceros y ostrácodos y su potencial relación con los atributos ambientales, lo cual, en un futuro, permitirá comparar sus resultados con escalas geográficas mayores y en diferente temporalidad.

## 2. ANTECEDENTES

### Cladóceros

Posiblemente, uno de los estudios pioneros en la diversidad de los cladóceros de México, es el trabajo publicado por Juday (1915), quien registró 14 especies en tres localidades cercanas a la Ciudad de México. El estudio de estos organismos en México ha brindado importantes aportes al conocimiento de la diversidad mundial de cladóceros, ya que se han descrito nuevas especies e incluso nuevos géneros (Ciros-Pérez & Elías-Gutiérrez, 1997a,b; Elías-Gutiérrez & Suárez-Morales, 1999).

### Estudio de los cladóceros en la Península de Yucatán

Probablemente una de las zonas en las que se tiene el mejor conocimiento de este grupo es la Península de Yucatán. El primer trabajo que se realizó en la zona sureste del país (principalmente en el estado de Yucatán) fue el de Wilson (1936), quien colectó un total de 10 especies, en diversos ecosistemas acuáticos. Por casi tres décadas no se realizaron estudios de estos crustáceos en la península, hasta el trabajo publicado por Van de Velde *et al.* (1978). Los autores registraron un total de 40 especies recolectadas en las zonas centro y sur de México, y en Guatemala; de las cuales identificaron a la especie *Scapholeberis kingi* Sars, 1903, en un cenote en Chichén Itzá, Yucatán.

El número de especies aumentó considerablemente dado el aporte de Elías-Gutiérrez *et al.* (1999), quienes realizaron una revisión de las especies de cladóceros de México, registrando un total de 110 especies para el país, de las cuales 38 fueron de la Península de Yucatán. El Estado de Yucatán, con un total de 20 especies tiene el mayor número de registros para la península, seguido por el estado de Quintana Roo con 15, y Campeche con tres especies. Elías-Gutiérrez *et al.* (2001) realizaron una exploración en los estados de Veracruz, Tabasco, Yucatán, Campeche y Quintana Roo, donde identificaron un total de 37 especies, aportando 10 nuevos registros para el listado de especies de cladóceros en México.

Una exploración en la provincia biogeográfica Campechano-Petenense, que abarca a la Península de Yucatán en México y a los países de Guatemala y Belice, permitió la identificación de un total de 56 especies colectadas en diferentes ecosistemas epicontinentales de esta provincia, de las cuales ocho especies resultaron ser nuevos registros para México (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2006).

Cabe señalar, que, a pesar de los diversos esfuerzos por conocer y describir la diversidad de cladóceros en el país, no se contaba con ningún trabajo que facilitara la identificación de las especies. Elías-Gutiérrez *et al.* (2008) realizaron la clave de identificación ilustrada para cladóceros y copépodos de México, recopilando información ya publicada que incluye información nueva del material colectado, como algunos ejemplares de la Península de Yucatán.

En cuanto a los estudios de carácter ecológico en ambientes acuáticos epicontinentales en la Península de Yucatán, son aún escasos. Un trabajo que destaca hasta el momento es el de Pérez *et al.* (2013). En este estudio se analizaron las preferencias ecológicas de diferentes bioindicadores como las diatomeas, quironómidos y crustáceos, incluyendo los cladóceros. Los autores identificaron un total de 51 especies de cladóceros recolectados en la zona norte del Neotrópico, abarcando la Península de Yucatán en México (conformada por los estados de Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo), hasta la zona sur de Guatemala. En este trabajo se registraron 41 especies presentes en el territorio mexicano. De acuerdo a este estudio, se observó que las variables ambientales relacionadas con los cladóceros fueron la conductividad,  $\text{HCO}_3^-$ , temperatura y oxígeno disuelto.

Hasta este momento se han registrado un total de 57 especies de cladóceros en la Península de Yucatán, pertenecientes a 30 géneros y siete familias; siendo el estado de Quintana Roo, el que cuenta con la mayor riqueza específica (35 spp.), seguido por el estado de Campeche (33 spp.) y finalmente el estado de Yucatán (17 spp.) (Fig. 1) (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2006; 2008).

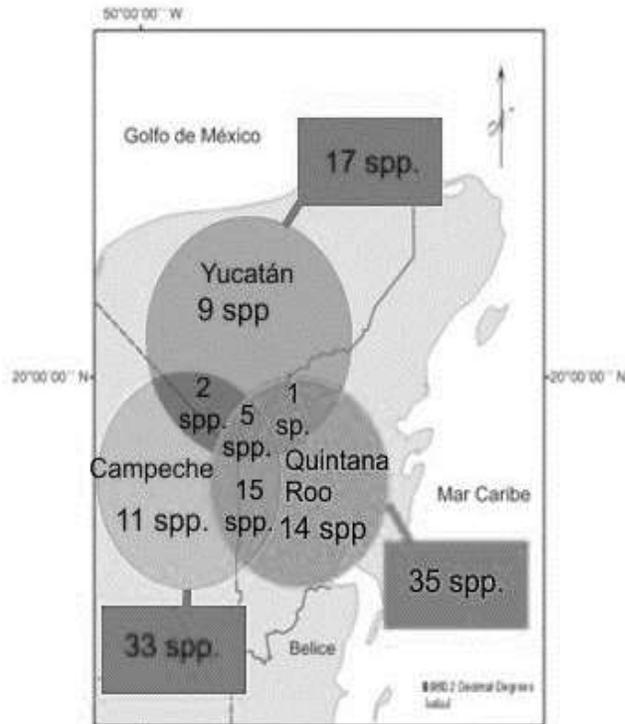


Fig. 1. Mapa de la distribución de las especies de cladóceros registradas para la Península de Yucatán. Figura construida a partir de la información de los trabajos Van de Velde *et al.* (1978); Elías-Gutiérrez *et al.* (2001; 2006; 2008; 2011); Pérez *et al.* (2013).

## Ostrácodos

La clase Ostracoda es un grupo menos estudiado en México; muy posiblemente los primeros registros fueron los aportes de Rio de la Loza & Craveri (1858) en la zona centro del país, así como la descripción de la especie mexicana *Chlamydotheca azteca* recolectada en el estado de Veracruz por Saussure (1858).

## Estudios de los ostrácodos en la Península de Yucatán

Quizá los ostrácodos son los crustáceos menos estudiados en esta región del país. El reporte de Furtos (1936) es el primer trabajo enfocado hacia este grupo en la región. En ese trabajo, a partir de una colecta en diferentes cenotes de la Península de Yucatán, fueron

identificadas un total de 23 especies, de las cuales 13 fueron descritas como nuevas. Más tarde, Furtos (1938), continuó con el estudio de ostrácodos, describiendo a la especie *Neocypridopsis mexicana* para la Península de Yucatán.

La diversidad de estos crustáceos durante no fue objeto de estudios adicionales. Hasta que Pérez (2010) retomó de manera más detallada y sistemática el estudio de los ostrácodos en la Península de Yucatán. En dicho estudio se reportaron 12 especies para la parte mexicana de Península de Yucatán de los cuales cinco fueron registros nuevos. En el mismo año Cohuo (2010), en su tesis de licenciatura reportó 25 especies en la Península de Yucatán. Posteriormente, Cohuo-Durán *et al.* (2012) describieron tres especies nuevas del género *Cyprretta* recolectadas en diferentes ecosistemas acuáticos de la región.

Los estudios mencionados se han enfocado en la descripción taxonómica, siendo quizá, el de Pérez *et al.* (2010) el único estudio con enfoque ecológico hasta el momento. En este trabajo se reportó que la presencia y abundancia de los ostrácodos en el norte del Neotrópico tienden a estar relacionados con variables ambientales de los sitios en los que habitan, tales como la conductividad, los carbonatos, el sodio, la profundidad, pH y la temperatura.

Al momento, se han registrado 30 especies de ostrácodos, distribuidas en 15 géneros y cinco familias en la región mexicana de la Península de Yucatán, un número susceptible a aumentar considerablemente. De estas, 21 especies se encuentran en el estado de Yucatán, 14 en el estado de Quintana Roo y 12 en Campeche. Sólo cinco especies están presentes en los tres estados. El Estado de Quintana Roo comparte dos y cuatro especies con los estados de Campeche y Yucatán, respectivamente. Los estados de Campeche y Yucatán únicamente comparten una especie (Fig. 2) (Furtos, 1936; 1938; Cohuo, 2010; Pérez *et al.*, 2010; Cohuo *et al.*, 2012). A pesar que los estudios de los ostrácodos son pocos en esta región, han sido una gran herramienta en las reconstrucciones paleoclimáticas de la Península de Yucatán ya que por medio del estudio de la isotopía de sus valvas se han podido inferir cambios en el clima a lo largo del tiempo de la península (Curtis *et al.*, 1996; Hodell *et al.*, 2005; Escobar *et al.*, 2012).

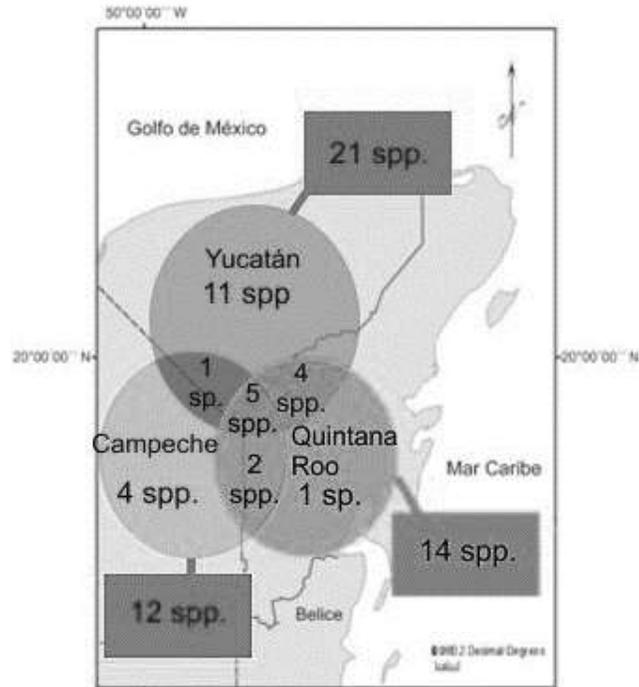


Fig. 2. Mapa de distribución de las especies de ostrácodos registradas para la Península de Yucatán. Figura construida a partir de la información de los trabajos Furtos (1936; 1938); Pérez (2010); Cohuo (2010); Pérez *et al.* (2010); Cohuo *et al.* (2012).

Si bien los estudios para ambos grupos de crustáceos se encuentran en desarrollo, se puede visualizar que su estudio no es homogéneo en toda la península, ya que, el número de especies para ambos grupos de crustáceos y distribución reportada de estas en la Península de Yucatán en México (Fig. 1 y Fig. 2), puede tratarse más de un reflejo de un mayor esfuerzo de muestreo en Quintana Roo para cladóceros, así como en Yucatán para ostrácodos. Por lo que aún quedan muchas interrogantes sobre la biología de estas especies.

## **JUSTIFICACIÓN**

El estudio de la biodiversidad en ambientes acuáticos es un conocimiento básico que por sí mismo tiene una validez única, ya que nos permite conocer más sobre el funcionamiento de estos ecosistemas. Especialmente en organismos como los microcrustáceos (cladóceros y ostrácodos) que son parte fundamental en las redes tróficas de los ecosistemas. Por otro lado, estos organismos pueden ser utilizados como bioindicadores de las condiciones ambientales debido a la relación que presentan con el ambiente.

Durante las últimas décadas, la región costera central de Quintana Roo ha tenido un importante auge turístico lo que ha derivado en un mayor uso y consecuente afectación de los cuerpos de agua epicontinentales. Ante esta problemática, es fundamental realizar estudios que describan las características limnológicas y el estado de salud de estos ecosistemas. Una herramienta útil es el análisis por medio de estos bioindicadores como los microcrustáceos (cladóceros y ostrácodos), sin embargo, este tipo de trabajos requieren de un conocimiento básico de la diversidad de estos organismos y su relación con el ambiente.

Otra importancia del estudio de cladóceros y ostrácodos radica en que son útiles como paleoindicadores en las reconstrucciones, las cuales no pueden ser acertadas si se desconoce gran parte de las preferencias ecológicas actuales de estos bioindicadores a nivel local y regional. Por ello se vuelve imprescindible incrementar dicha información la cual a la fecha es aún escasa para las especies neotropicales.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Comparar las comunidades de microcrustáceos (cladóceros y ostrácodos) en el bentos de la zona litoral de diferentes ecosistemas acuáticos epicontinentales del estado de Quintana Roo, analizando su composición específica y la posible relación de las especies encontradas con las variables ambientales.

### **Particulares**

- Describir las condiciones limnológicas básicas de los ecosistemas muestreados en la zona sureste del estado de Quintana Roo.
- Identificar al nivel taxonómico más fino posible los microcrustáceos recolectados en la zona litoral de cada uno de los cuerpos acuáticos epicontinentales analizados.
- Determinar cuantitativamente la densidad de las especies recolectadas en los diferentes ecosistemas estudiados.
- Evaluar de manera sistemática las relaciones potenciales entre los atributos ambientales y las comunidades de microcrustáceos de los sitios estudiados.

## ÁREA DE ESTUDIO

El Estado de Quintana Roo se encuentra en la zona oriental de la Península de Yucatán, entre 21° 36' y 17° 49' latitud N y 86° 43' y 89°25' longitud W. Con una superficie de 50,843 km<sup>2</sup>, el Estado representa el 2.2% del territorio nacional (INEGI 2012). Cuenta con un relieve casi plano a una elevación promedio de 10 msnm, las mayores elevaciones se encuentran en el estado de Campeche siendo el Cerro Champerico el sitio más alto con 390 msnm (INEGI, 2015). Los estados de Yucatán y Quintana Roo, presentan altitudes más bajas siendo el cerro El Charro (230 msnm) uno de los más altos, seguido por Nuevo Becar (180 msnm) y El Pavo (120 msnm) (INEGI,2012).

El Estado presenta un clima cálido subhúmedo tropical, con una temperatura media anual de 26.1 °C. La precipitación en la Península de Yucatán presenta un gradiente descendente desde la zona sureste (2000 mm) hacia la zona noroeste (500 mm). En el estado de Quintana Roo la precipitación anual va de los 900 a 1500 mm por año. Presenta lluvias durante todo el año, siendo menores durante marzo a mayo, y más abundantes de junio a octubre (Schmitter-Soto *et al.*, 2002; INEGI, 2016). En la Península de Yucatán, el 85% de la precipitación es evapotranspirada, lo cual es una de las principales características hidrogeológicas de toda la región. La alta porosidad de la roca que ocasiona una infiltración del agua al subsuelo, ha generado que la hidrología sea principalmente subterránea. Sin embargo, también existen ecosistemas acuáticos epicontinentales que brindan de agua dulce a la población desde tiempos precolombinos, conocidos como cenotes (Pérez *et al.*, 2012).

La Península de Yucatán es variable en términos de su geoquímica, estratigrafía, y características tectónicas y superficiales del territorio. De acuerdo a estos parámetros, se ha dividido en seis regiones hidrogeoquímicas y fisiográficas. La región de la Zona de fractura Holbox al norte estado de Quintana Roo, cuenta con una gran cantidad de cenotes paralelos a la línea de costa, además el agua se desplaza hacia el norte de la península. La segunda región es conocida como la “zona de evaporitas, se encuentra al sur del estado, y se caracteriza por tener cuerpos de agua con concentraciones de sulfato y sulfato/cloruro más alto y una baja permeabilidad en comparación con el norte de la península (Perry *et al.*, 2002).

Una de las principales características del estado de Quintana Roo, es que, a diferencia de la zona norte de la península, destacando dos ríos: Rio Hondo (frontera

con Belice) y Rio Ucum (tributario del Rio Hondo), tres arroyos: Verde, Ixno-Ha y el Zudi así como una gran variedad de ecosistemas acuáticos epicontinentales no subterráneos, destacando: Laguna de Bacalar, San Felipe, La Virtud, Guerrero, Milagros, Chichancanab, Esmeralda, Noh-bec, Paytoro, Sac Ayín, X-Kojolí, Ocom, Chunyaxché, Cobá, y Nichupté (INEGI 2012; 2016), los cuales en su mayoría se encuentran hacia el sureste del estado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

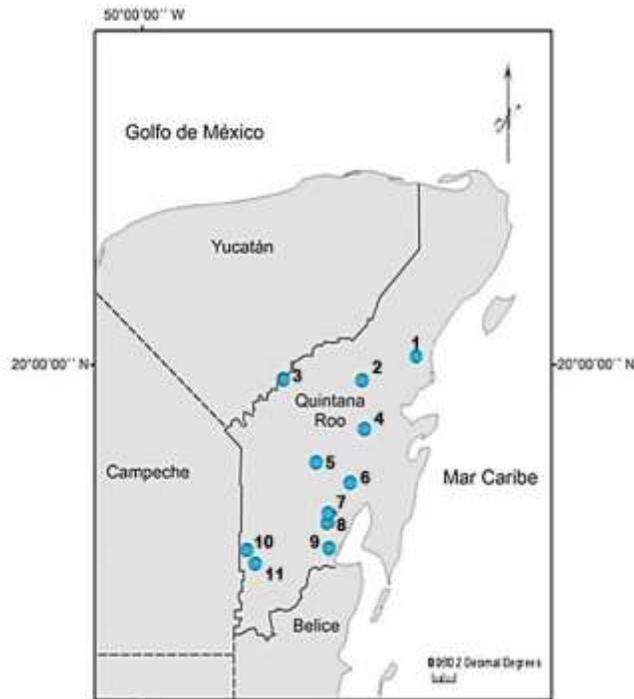
### TRABAJO DE CAMPO

Como parte del proyecto "Effects of Abrupt Climate Change on the Ice Age Ecosystem of Lake Petén Itzá and on Distribution Patterns of Ostracodes across the Yucatán Peninsula" financiado por la Fundación Alemana de Investigación Científica (DFG, por sus siglas en alemán) a cargo de la Dra. Antje Schwalb (TU-Braunschweig, Alemania) y co-responsables (Dra. Liseth Pérez, UNAM, México, Dr. Steffen Kutterolf, Geomar y Dr. Miguel Vences, TU-Braunschweig, Alemania), se recolectaron muestras de sedimentos y agua para el análisis de la composición iónica durante el mes de agosto del 2013, en 11 ecosistemas acuáticos ubicados en la zona centro y sur del estado de Quintana Roo (Fig. 3).

Utilizando una draga tipo Ekman, se extrajo sedimento de dos partes cercanas de la zona litoral, escogidas de acuerdo con la accesibilidad de cada lago, en la zona litoral de cada ecosistema acuático muestreado. Dado que este estudio está enfocado en organismos actuales, únicamente se tomaron en cuenta los primeros centímetros de sedimento, colectado, para tener la seguridad de que se trata de un tiempo actual en los sedimentos. Finalmente, el material biológico recolectado fue fijado con etanol al 75%.

Para conocer los parámetros limnológicos, se utilizó una sonda multiparamétrica WTW Multi Set 350i. Se registraron datos de oxígeno disuelto, pH, conductividad, salinidad, temperatura de la zona litoral de cada uno de los cuerpos muestreado. Además, se obtuvieron los valores de profundidad máxima de cada cuerpo acuático y se midió la transparencia utilizando disco de Secchi.

Por otra parte, se tomaron muestras de agua a 1 m de profundidad de cada ecosistema acuático con ayuda de una botella recolectora. Sobre estas muestras, se determinó composición química de aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) y cationes ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$ ) en el Instituto de Geofísica, UNAM.



### TRABAJO DE LABORATORIO

| ID | Nombre                 | CODE | Punto de muestreo |              |
|----|------------------------|------|-------------------|--------------|
|    |                        |      | Latitud (N)       | Longitud (O) |
| 1  | Muyil                  | MUY  | 20°4'12"          | 87°36'13.46" |
| 2  | Señor                  | SEÑ  | 19°52'48"         | 88°4'38.92"  |
| 3  | Chichancanab           | CHI  | 19°52'48"         | 88°46'5.51"  |
| 4  | Sijil Noh Ha           | SNH  | 19°28'12"         | 88°3'19.54"  |
| 5  | Emiliano Zapata        | EZ   | 19°11'60"         | 88°28'8.60"  |
| 6  | Chacchoben             | CBEN | 19°2'24"          | 88°10'51.80" |
| 7  | Miguel Hidalgo         | MH   | 18°47'24"         | 88°22'2.6"   |
| 8  | Bacalar                | BAC  | 18°41'60"         | 88°22'54.99" |
| 9  | Encantada              | ENC  | 18°30'            | 88°23'22.29" |
| 10 | Chacabacab             | CAB  | 18°28'48"         | 89°5'12.8"   |
| 11 | San José de la Montaña | SJM  | 18°22'12"         | 89°43.3"     |

Fig. 3. Mapa del estado de Quintana Roo, México donde se muestran los ecosistemas acuáticos muestreados durante agosto 2013.

Las muestras de sedimento colectadas en campo fueron trasladadas al Instituto de Geología, UNAM, y se mantuvieron a temperatura ambiente para su posterior análisis. De cada una de las muestras de sedimento obtenidas, se submuestrearon 40 cm<sup>3</sup>, por lo que en este estudio la abundancia total está en términos de densidad de número de individuos/40 cm<sup>3</sup> por sitio. El sedimento fue lavado cuidadosamente con abundante agua y tamizado con un tamiz de abertura de malla de 63 µm. El material que quedó por arriba de la malla, se revisó con ayuda de un microscopio estereoscópico con la finalidad

de extraer manualmente y cuantificar los ostrácodos y cladóceros con partes blandas presentes en el sedimento. Posteriormente, se identificó cada uno de los organismos al nivel taxonómico más fino posible, tanto para ostrácodos como para cladóceros. Para la identificación se utilizó literatura especializada para cladóceros (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008) y ostrácodos (Furtos, 1936; Karanovic, 2012). En el caso de ostrácodos y cladóceros se realizaron microdisecciones de los organismos. Adicionalmente, para las valvas de ostrácodos se tomaron fotografías en un microscopio de barrido modelo Hitachi SU5110 Scanning en el laboratorio de microscopía de biodiversidad del Instituto de Biología, UNAM.

## **TRABAJO DE GABINETE**

Se realizaron fichas de cada una de las especies identificadas, las cuales se encuentran en el Anexo, aportando la siguiente información:

**NOMBRE CIENTÍFICO:** Nombre actual hasta el nivel taxonómico más fino, incluyendo autor y año.

**DIAGNOSIS:** Se elaboró una breve caracterización diagnóstica de cada taxón de acuerdo a lo registrado en la literatura y lo observado en los ejemplares. En el caso de algunas especies de ostrácodos sólo se describió la valva, a pesar de tener el organismo completo.

**MATERIAL EXAMINADO:** Se señaló la densidad total de los organismos (orgs.) encontrados en todos los cuerpos acuáticos, así como el número de individuos en los 40 cm<sup>3</sup> de cada uno de los cuerpos muestreados nombrados por su código (Fig. 1), junto con la fecha de recolecta (e.g. (MUY, 30/08/2013))

**DISTRIBUCIÓN:** Se utilizó la distribución zoogeográfica a nivel global utilizando las abreviaciones utilizadas por Kotov *et al.* (2013) para cladóceros y Martens y Savatnalinton, (2011) y Cohuo *et al.*, 2016 para ostrácodos.

**MEDIO AMBIENTE:** Descripción de las preferencias ambientales de acuerdo a lo encontrado en la literatura y a lo observado este estudio.

## **ANÁLISIS DE DATOS**

## - Análisis de agrupamiento de los sitios de acuerdo a los parámetros ambientales

Para evaluar la similitud entre los sitios muestreados en términos de las variables ambientales muestreadas (oxígeno disuelto, pH, conductividad, salinidad, temperatura y la composición química de aniones y cationes), se realizó un Análisis de Coordenadas Principales no Métrico” (NMDS por sus siglas en inglés). El NMDS es un análisis multivariado que representa las relaciones topológicas que existen entre los objetos sin considerar las distancias euclidianas entre ellos. Dicho análisis fue realizado con el software R-project (R Core Team, 2016), mediante la paquetería vegan (Oksanen *et al.*, 2016).

## - Diversidad

Se estimó diversidad  $\alpha$  y  $\beta$  sobre los cladóceros y ostrácodos encontrados en el área de estudio utilizando R-project (R Core Team, 2016), mediante la paquetería vegan (Oksanen *et al.*, 2016).

Se realizó una curva de acumulación de especies, tanto para cladóceros como para ostrácodos, considerando todos los sitios muestreados; con el cual se analizó la riqueza específica total de este estudio para cada uno de los grupos. En este análisis se hace un modelo del número de especies esperadas a partir de la acumulación de sitios muestreados al azar (Moreno, 2001; Oksanen, 2016).

La diversidad  $\alpha$  en este estudio fue evaluada principalmente mediante el *índice de Shannon*, ya que es uno de los más comunes en la ecología de organismos béticos, y considera tanto la densidad de individuos como la riqueza de especies en cada sitio (Magurran, 1988). El índice de Shannon en bits/ind se define a partir de la fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

donde:

H'= Índice de Shannon  
p= proporción de la abundancia de la especie *i* ( $n_i/N$ )  
S=número total de especies  
 $n_i$ = abundancia de la especie *i*  
N= número total de individuos

En cuanto a la diversidad  $\beta$ , la cual permite comparar cuantas especies se comparten entre dos sitios o más (Koleff *et al.*, 2003), se analizó para las comunidades de ostrácodos y cladóceros mediante el índice de Whittaker cuya fórmula se expresa:

$$\beta = \frac{S}{\alpha - 1}$$

donde:

S = Número de especies registradas en un conjunto de muestras (diversidad gamma)

$\alpha$  = Número promedio de especies en las muestras (alfa promedio)

Los resultados arrojados en este índice fueron representados en un diagrama ternario mediante el uso de la paquetería *vegan* del software R (Koleff *et al.*, 2003; Oksanen *et al.*, 2016; R Core Team, 2016).

#### **-Relación de las especies con las variables ambientales**

Para correlacionar las variables ambientales y las especies de cladóceros y ostrácodos encontradas en este estudio se utilizó un Análisis de Correspondencia sin tendencia (DCA por sus siglas en inglés). Para ello, se seleccionaron aquellas especies que se encontraban en más de un sitio. Esta técnica multivariada es un análisis de ordenación, que a diferencia de otros reduce el efecto arco sobre los sitios. Este análisis simplifica la información y permite visualizar la relación de las especies con las variables ambientales mediante un diagrama (Correa *et al.*, 2014).

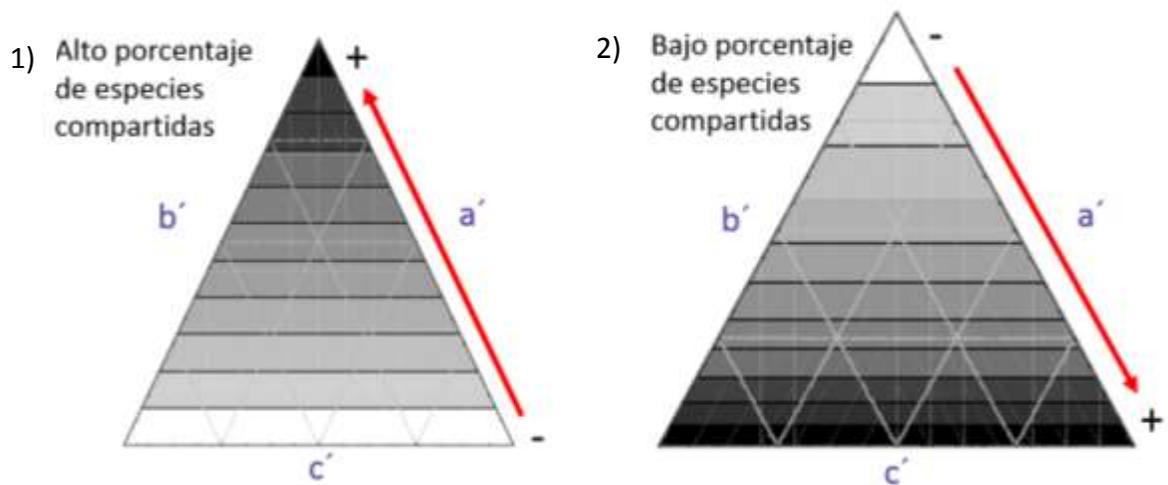


Fig. 4. Interpretación del diagrama ternario para el análisis de la diversidad  $\beta$ . En donde  $a'$  = porcentaje de especies compartidas entre especies;  $b'$  = porcentaje de especies únicas en el sitio focal;  $c'$  = porcentaje de especies únicas en el sitio vecino. 1) Cuando existe un alto porcentaje de especies compartidas entre los sitios la mayor concentración de puntos se acumula hacia el ápice del triángulo. 2) Cuando el porcentaje de especies compartidas es bajo, la concentración de puntos se acumula hacia la base. Modificado de Koleff y cols. (2003).

## **RESULTADOS**

### **Parámetros limnológicos de ecosistemas acuáticos del estado de Quintana Roo en agosto 2013**

#### **- Profundidad**

El cuerpo acuático en el que se midió la mayor profundidad fue Muyil con 16 m, al igual que Bacalar, seguidos por Chichancanab con 15 m. Por su parte, Señor fue el que presentó la menor profundidad con 2 m. El resto de los cuerpos acuáticos cuentan con una profundidad que van de los 3 m a los 8 m. (Tabla 1).

#### **- Transparencia**

De acuerdo al porcentaje calculado a partir de la profundidad medida con disco de Secchi y la profundidad total, se pudo observar que en el cuerpo acuático de Señor la transparencia alcanzó la profundidad máxima. Sin embargo, se trata de un cuerpo muy somero. Los sitios con mayor transparencia y mayor profundidad fueron Chacchoben, Miguel Hidalgo y San José de la Montaña con menos del 20% de transparencia. Los sitios más profundos, obtuvieron diferentes valores de transparencia; en el caso de Bacalar la transparencia medida fue de 62.5%, mientras que Muyil y Chichancanab tuvieron una transparencia de 37.5% y 62.5% respectivamente. (Tabla 1).

#### **- Temperatura**

Los valores de la temperatura que se registraron para los diferentes cuerpos acuáticos fueron relativamente homogéneos, con promedio de 29.8 °C y desviación estándar de 1.58. El cuerpo de agua de San José de la Montaña obtuvo el valor más bajo con 28 °C; mientras que en Sijil Noh Ha se registró la temperatura más alta con 32.6 (Tabla 1).

#### **- pH**

Los cuerpos acuáticos muestreados en este estudio presentaron un pH ligeramente básico ya que todos estuvieron por arriba de 7. El valor más alto de pH fue de 9 en los cuerpos de Emiliano Zapata y Chacchoben; mientras que los más cercanos a la neutralidad fueron Encantada (7.8) y Chacanbacab (7.7). En el resto de los ecosistemas el pH tuvo valores que van de 8 a 9 (Tabla 1).

### **- Oxígeno disuelto**

Los valores más altos de oxígeno disuelto se registraron en los cuerpos acuáticos de Emiliano Zapata (8.7 mg/L) y Chacchoben (8.6 mg/L), mientras que en Chacabacab, se registró el valor más bajo con tan sólo 2 mg/L. A excepción de San José de la Montaña que cuenta con un valor de 4.2 mg/L de oxígeno disuelto, el resto de los cuerpos muestreados obtuvo valores entre 6 y 8 mg/L (Tabla 1).

### **- Conductividad**

En la gran mayoría de los cuerpos acuáticos muestreados en este estudio, los valores de conductividad fueron inferiores a los 3000  $\mu\text{S/cm}$ , exceptuando a Chichancanab con 3770  $\mu\text{S/cm}$  y Encantada con 3100  $\mu\text{S/cm}$ ; seguidos por Bacalar con 2010  $\mu\text{S/cm}$ . El resto de los cuerpos muestreados obtuvieron valores por debajo de los 1300  $\mu\text{S/cm}$ , siendo Emiliano Zapata y Chacabacab los sitios con la conductividad más baja (Tabla 1).

### **- Salinidad**

Todos los cuerpos acuáticos muestreados en este estudio registraron valores muy bajos de salinidad, ya que ninguno estuvo por arriba de uno. El valor más alto de salinidad fue de 0.2 en Chichancanab. Los cuerpos de Emiliano Zapata, Chacchoben, Encantada y Chacabacab, registraron valores nulos en cuanto a salinidad (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros ambientales de los ecosistemas acuáticos epicontinentales muestreados de Quintana Roo.

| ID                  | Profundidad (m) | Secchi (m) | Transparencia (%) | Temperatura (°C) | pH    | O. D. (mg/L) | Conductividad (µS/cm) | Salinidad (ppm) |
|---------------------|-----------------|------------|-------------------|------------------|-------|--------------|-----------------------|-----------------|
| MUY                 | 16              | 6          | 37.5              | 29.2             | 8.8   | 6.8          | 1130                  | 0               |
| SEÑ                 | 2               | 2          | 100               | 31.2             | 8.9   | 7.0          | 1300                  | 0               |
| CHIC                | 15              | 1.5        | 10.5              | 31.2             | 8.8   | 7.2          | 3770                  | 0               |
| SNH                 | 8               | 3.4        | 43.2              | 32.6             | 8.5   | 7            | 1160                  | 0               |
| EZ                  | 5               | 0.4        | 22.5              | 30.7             | 9     | 8.7          | 100                   | 0               |
| CBEN                | 4               | 0.4        | 10                | 30.8             | 9     | 8.6          | 300                   | 0               |
| MH                  | 4               | 0.5        | 13.5              | 29.8             | 8.6   | 6.2          | 300                   | 0               |
| BAC                 | 16              | 10         | 62.5              | 29.5             | 8.3   | 7.2          | 2010                  | 0.1             |
| ENC                 | 3               | 1.7        | 56.7              | 29               | 7.8   | 6.4          | 3100                  | 0               |
| CCAB                | 3               | 1.7        | 58.6              | 29               | 7.7   | 2            | 100                   | 0               |
| SJM                 | 3               | 0.5        | 17                | 28               | 8.2   | 4.2          | 400                   | 0.02            |
| Intervalo (min-máx) | 2-16            |            | 10-100            | 28-32.6          | 7.7-9 | 2-8.7        | 100-3770              | 0-0.2           |

### -Composición química

La dominancia iónica varió entre los diferentes cuerpos muestreados (Tabla 2). Las concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  registraron un intervalo de 1.63-4.69 meq/L, donde el valor más bajo se encontró en Chacabacab y el más alto en Encantada.

Los valores de  $\text{SO}_4^{2-}$  variaron considerablemente entre los ecosistemas acuáticos, ya que se obtuvieron concentraciones bajas como en los sitios de Chacabacab, Chacchoben, San José de la Montaña, Muyil y Emiliano Zapata, con valores por debajo de 0.01 meq/L. Por su parte, Chichancanab, Bacalar y Encantada se midieron valores por arriba de los 25 meq/L de sulfatos, siendo el primero donde se midió la mayor concentración.

Las concentraciones de  $\text{Cl}^-$  estuvieron entre los 0.31 y 10.08 meq/L, siendo el valor más alto en Señor y el más bajo Chacabacab (Tabla 2).

Las concentraciones de  $\text{Na}^+$  fueron registradas dentro de un intervalo de 0.49-9.23 meq/L en los diferentes cuerpos muestreados; los que presentaron valores más altos fueron

Chichancanab (5.09 meq/L), y Encantada (4.49 meq/L), mientras que el que tuvo menor concentración fue Chacanbacab (0.27 meq/L) (Tabla 2).

El cuerpo acuático de Encantada obtuvo un valor de 0.28 meq/L de  $K^+$ , siendo el valor más alto registrado en este estudio, mientras que el valor medido más bajo de este ion se encontró en los sitios de Bacalar y Muyil con 0.11 meq. (Tabla 2).

Los valores de  $Ca^{+2}$  fueron de los 36.68 meq/L en Chichancanab y de 18.01 y 16.73 meq/L para Bacalar y Encantada respectivamente, el resto de los sitios tuvieron valores por debajo de 4.03 meq/L.

Finalmente, el  $Mg^{+2}$  se cuantificó dentro de un intervalo de 0.43 a los 19.37 meq/L, nuevamente siendo el valor más alto en Chichancanab, mientras que el valor más bajo se registró en Chacanbacab (Tabla 2).

Tabla 2. Composición iónica de ecosistemas acuáticos epicontinentales de Quintana Roo (meq/L).

| ID                  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Cl <sup>-</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>+2</sup> | Mg <sup>+2</sup> |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| MUY                 | 3.43                          | 0.79                          | 9.68            | 7.03            | 0.11           | 2.60             | 3.10             |
| SEÑ                 | 2.34                          | 4.56                          | 10.08           | 7.53            | 0.14           | 3.45             | 4.88             |
| CHIC                | 1.90                          | 58.55                         | 8.72            | 9.23            | 0.16           | 36.68            | 19.37            |
| SNH                 | 2.01                          | 6.88                          | 6.06            | 5.53            | 0.15           | 4.03             | 4.42             |
| EZ                  | 2.17                          | 0.08                          | 0.39            | 0.94            | 0.12           | 1.21             | 0.44             |
| CBEN                | 2.71                          | 0.04                          | 0.76            | 1.15            | 0.19           | 1.67             | 0.66             |
| MH                  | 2.52                          | 1.31                          | 0.75            | 0.99            | 0.22           | 2.40             | 0.89             |
| BAC                 | 2.52                          | 25.42                         | 5.61            | 3.55            | 0.11           | 18.01            | 7.94             |
| ENC                 | 4.69                          | 35.41                         | 3.91            | 8.13            | 0.28           | 16.73            | 8.07             |
| CCAB                | 1.63                          | 0.02                          | 0.31            | 0.49            | 0.14           | 1.08             | 0.43             |
| SJM                 | 4.38                          | 0.06                          | 1.89            | 3.40            | 0.32           | 1.85             | 0.81             |
| Intervalo (min-máx) | 1.90-4.69                     | 0.02- 58.55                   | 0.31-10.08      | 0.49-9.23       | 0.11-0.28      | 1.08-36.68       | 0.43-19.37       |

### Comparación de los sitios muestreados de acuerdo a los parámetros ambientales

Para tener una mejor comprensión de los ecosistemas muestreados, se realizó un análisis de coordenadas principales no paramétrico (nMDS). En el diagrama se puede observar que los sitios presentan un ordenamiento principalmente explicado por los valores de conductividad y pH.

Se puede observar que los sitios con los valores más altos de conductividad se encuentran del lado izquierdo del diagrama. Relacionado con esta variable se encuentra la mayor concentración de sulfatos, hacia sitios de Chichancanab, Bacalar y Encantada.

En cuanto al eje 2 se le relacionó principalmente con el pH, hacia el lado positivo se encuentran los sitios con un pH más básico como los sitios de Señor y Sijil Noh Ha y hacia los negativos los valores cercanos a la neutralidad (Tabla 1).

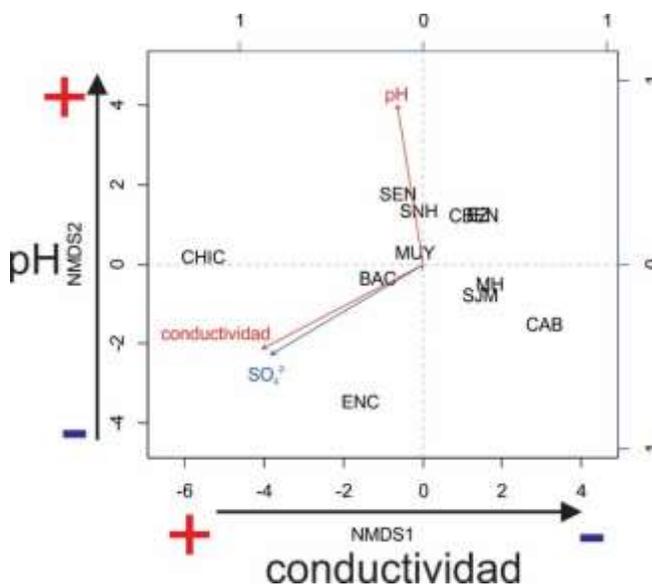


Fig. 5. Análisis de Coordenadas principales No Métrico. Muyil (MUY), Señor (SEN), Chichancanab (CHIC), Sijil Noh ha (SNH), Emiliano Zapata (EZ), Chacchoben (CBEN), Miguel Hidalgo (MH), Bacalar (BAC), Encantada (ENC), Chacanbacab (CAB), San José de la Montaña (SJM).

### Densidades de ambos grupos (cladóceros y ostrácodos) por sitio

En este estudio se recolectaron un total 1,729 microcrustáceos en 440 cm<sup>3</sup> de sedimento, de 11 cuerpos acuáticos epicontinentales del estado de Quintana Roo; de los cuales, 528 organismos fueron cladóceros y 1,201 ostrácodos.

En la mayoría de los sitios, los ostrácodos tuvieron una mayor densidad que los cladóceros, el sitio con mayor concentración organismos fue Emiliano Zapata con un total de 556 individuos/40 cm<sup>3</sup>, de los cuales 536 eran ostrácodos y tan sólo 20 individuos fueron cladóceros (Fig. 6).

En segundo lugar, se encuentra Chacanbacab, con un total de 277 individuos/40 cm<sup>3</sup> sin embargo en este sitio se encontró mayor cantidad de cladóceros (215 individuos/40 cm<sup>3</sup>) que de ostrácodos (62 individuos/40 cm<sup>3</sup>) (Fig. 6).

Otro sitio con alta densidad de cladóceros comparado con ostrácodos fue Encantada, donde de un total de 208 individuos/40 cm<sup>3</sup> se encontraron 151 cladóceros y 52 ostrácodos (Fig. 6). En el resto de los sitios muestreados, fue mayor el número de ostrácodos (Tabla 3).

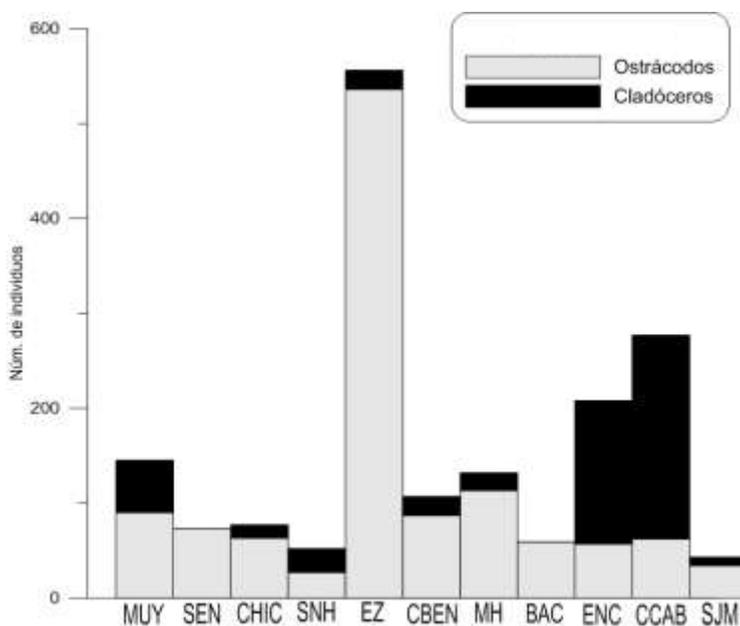


Fig. 6. Densidad total de los microcrustáceos recolectados en los ecosistemas acuáticos epicontinentales del estado de Quintana Roo.

Tabla 3. Densidad por cada grupo en los sitios muestreados.

En negrita el grupo con mayor densidad

|      | Ostrácodos<br>(ind/40 cm <sup>3</sup> ) | Cladóceros<br>(ind/40 cm <sup>3</sup> ) | Total<br>(ind/40 cm <sup>3</sup> ) |
|------|---|---|------------------------------------|
| MUY  | <b>90</b>                               | 55                                      | <b>145</b>                         |
| SEN  | <b>73</b>                               | 0                                       | <b>73</b>                          |
| CHIC | <b>63</b>                               | 14                                      | <b>77</b>                          |
| SNH  | <b>27</b>                               | 25                                      | <b>52</b>                          |
| EZ   | <b>536</b>                              | 20                                      | <b>556</b>                         |
| CBEN | <b>87</b>                               | 20                                      | <b>107</b>                         |
| MH   | <b>113</b>                              | 19                                      | <b>132</b>                         |
| BAC  | <b>59</b>                               | 0                                       | <b>59</b>                          |
| ENC  | 57                                      | <b>151</b>                              | <b>208</b>                         |
| CAB  | 62                                      | <b>215</b>                              | <b>277</b>                         |
| SJM  | <b>34</b>                               | 9                                       | <b>43</b>                          |



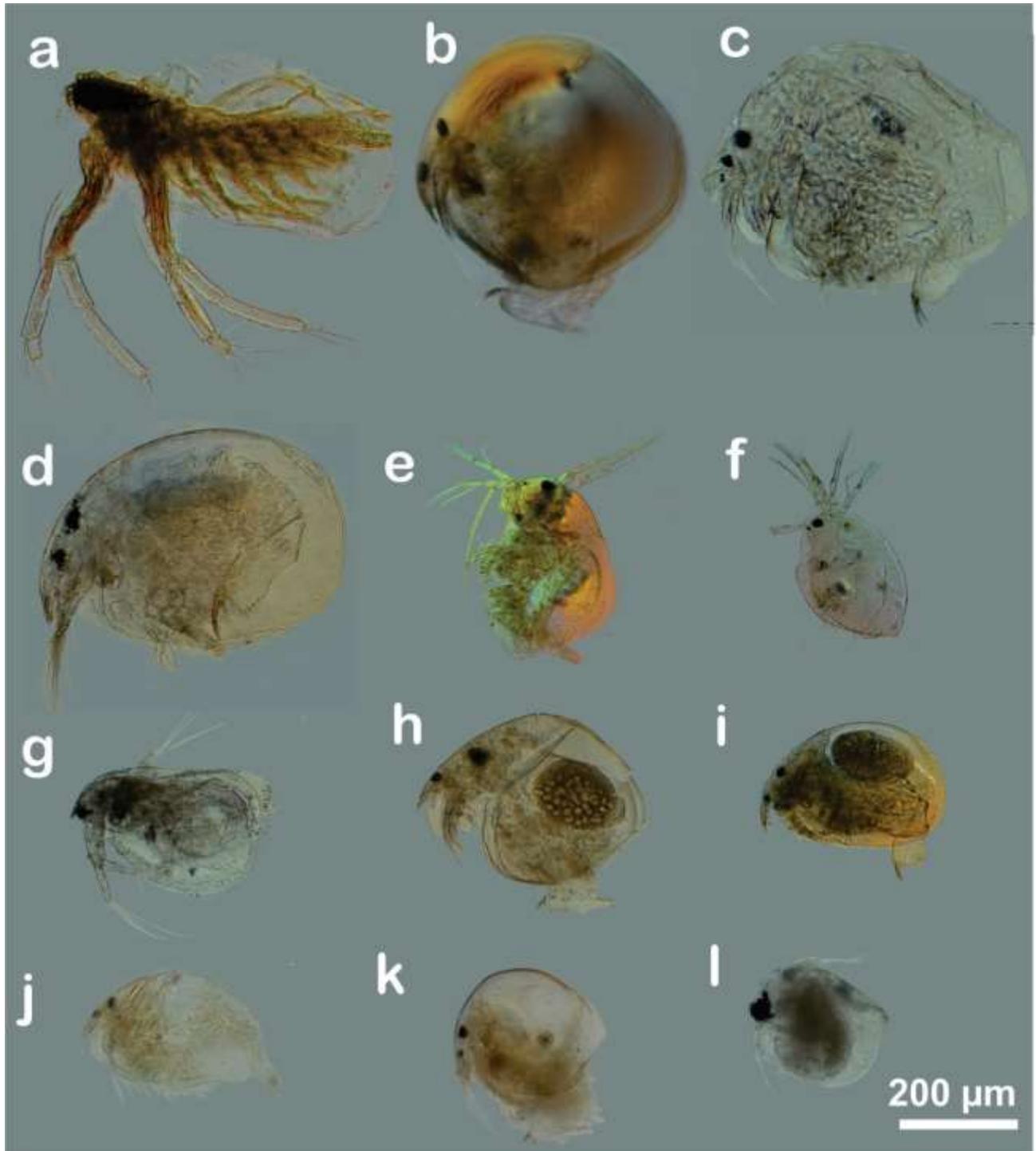


Fig. 7. Fotografías de microscopía óptica de los cladóceros recolectados en los ecosistemas acuáticos de Quintana Roo. a) *Diaphanosoma brevireme*; b) *Chydorus eurynotus*; c) *Leberis* cf. *davidi*; d) *Alona karelica*; e) *Macrothrix spinosa*; f) *Macrothrix elegans*; g) *Ilyocryptus spinifer*; h) *Ephemeroporus hybridus*; i) *Antalona pectinata*; j) *Picripleuroxus denticulatus*; k) *Ephemeroporus barroisi*; l) *Ceriodaphnia* cf. *dubia*.

## Riqueza específica y diversidad

De las 16 especies de cladóceros identificadas en este estudio, se registró el mayor número de especies en el cuerpo de agua Chacanbacab con un total de 7 especies, mientras que en Miguel Hidalgo sólo se encontró una especie de cladóceros. En el resto de los sitios sólo se encontraron de 3 a 4 especies por sitio. Cabe señalar que en este estudio no se encontró ningún ejemplar de estos crustáceos en los sitios Señor y Bacalar (Tabla 4).

Los sitios que obtuvieron el valor más alto de acuerdo al índice de Shannon fueron Chacanbacab (2.40 bits/ind.) y Sijil Noh Ha (2.07 bits/ind.). Mientras que el sitio con valor más bajo fue Miguel Hidalgo, ya que en este sitio sólo se encontró una especie (Fig. 10).

Se realizó una curva de acumulación de especies de la cual se obtuvo una línea que, si bien no llega a la asíntota, aparentemente está tiende un poco a estar cercana a partir del sitio número 10, sin embargo, aún no llega a estabilizarse del todo con 16 especies en los 11 sitios muestreados (Fig. 8).

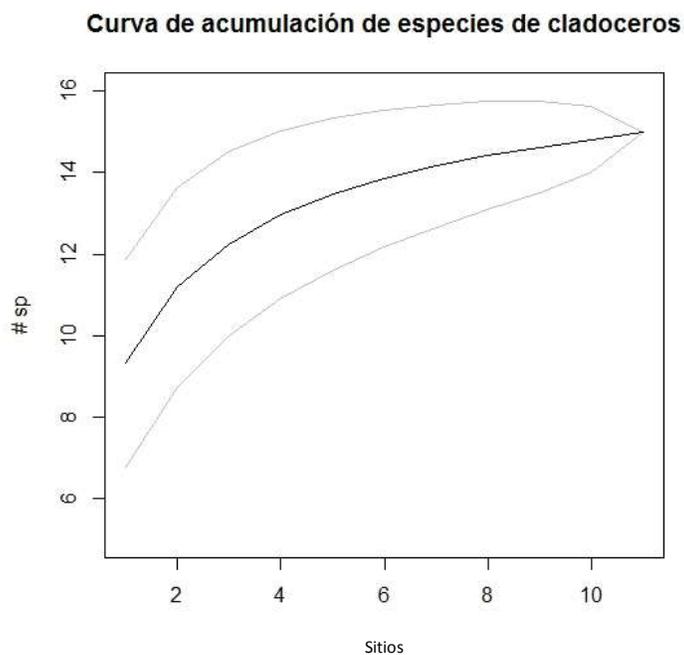


Fig. 8. Curva de acumulación de especies de cladóceros de 11 sitios muestreados

La especie más frecuente del grupo de los cladóceros fue *M. elegans*, la cual se registró en nueve de los 11 sitios muestreados, seguida por la especie *A. pectinata*, la cual se encontró en cinco ecosistemas acuáticos. Del total de especies 10 estuvieron presentes sólo en un cuerpo acuático, mientras que 6 estuvieron presentes en más de uno (Tabla 4).

De acuerdo al índice de Whittaker, las especies no se encuentran homogéneamente distribuidas en los sitios, debido a que la mayor concentración de los puntos se encontró por debajo del 50% del eje a' (Fig. 9). Los sitios que con el mayor número de especies compartidas fueron Chichancanab y Muyil (Tabla 5).

Tabla 4. Frecuencia de las especies de cladóceros entre los sitios. Los sitios presentan un acomodo de mayor a menor riqueza específica y las especies de menor a mayor frecuencia. CAB=Chacanbacab; SNH=Sijil Noh Ha; CHIC=Chichancanab; CBEN=Chacchoben; MUJ=Muyil; EZ=Emiliano Zapata; SJM=San José de la Montaña; ENC=Encantada; MH=Miguel Hidalgo; SEN=Señor; BAC=Bacalar.

|                         | CAB | SNH | CHIC | CBEN | MUY | EZ | SJM | ENC | MH | SEN | BAC | # de sitios |
|-------------------------|-----|-----|------|------|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-------------|
| <i>L. australis</i>     |     |     |      |      |     |    |     | ■   |    |     |     | 1           |
| <i>Simocephalus</i> sp. |     |     |      | ■    |     |    |     |     |    |     |     | 1           |
| <i>C. cf. dubia</i>     |     |     |      |      |     |    | ■   |     |    |     |     | 1           |
| <i>M. spinosa</i>       | ■   |     |      |      |     |    |     |     |    |     |     | 1           |
| <i>P. denticulatus</i>  |     | ■   |      |      |     |    |     |     |    |     |     | 1           |
| <i>C. eurynotus</i>     |     | ■   |      |      |     |    |     |     |    |     |     | 1           |
| <i>E. barroisi</i>      |     | ■   |      |      |     |    |     |     |    |     |     | 1           |
| <i>L. cf. davidi</i>    |     |     | ■    |      |     |    |     |     |    |     |     | 1           |
| <i>A. cf. dentifera</i> | ■   |     |      |      |     |    |     |     |    |     |     | 1           |
| <i>A. karelica</i>      |     |     |      |      |     | ■  |     |     |    |     |     | 1           |
| <i>D. brevireme</i>     | ■   |     |      |      | ■   |    |     |     |    |     |     | 2           |
| <i>I. spinifer</i>      | ■   |     |      |      | ■   |    |     |     |    |     |     | 2           |
| <i>K. penuelasi</i>     |     |     | ■    | ■    |     |    |     |     |    |     |     | 2           |
| <i>E. hybridus</i>      | ■   | ■   |      | ■    | ■   |    |     |     |    |     |     | 4           |
| <i>A. pectinata</i>     | ■   |     | ■    |      |     | ■  | ■   | ■   |    |     |     | 5           |
| <i>M. elegans</i>       | ■   | ■   | ■    | ■    | ■   | ■  | ■   | ■   | ■  |     |     | 9           |
| Total de especies       | 7   | 5   | 4    | 4    | 4   | 3  | 3   | 3   | 1  | 0   | 0   |             |

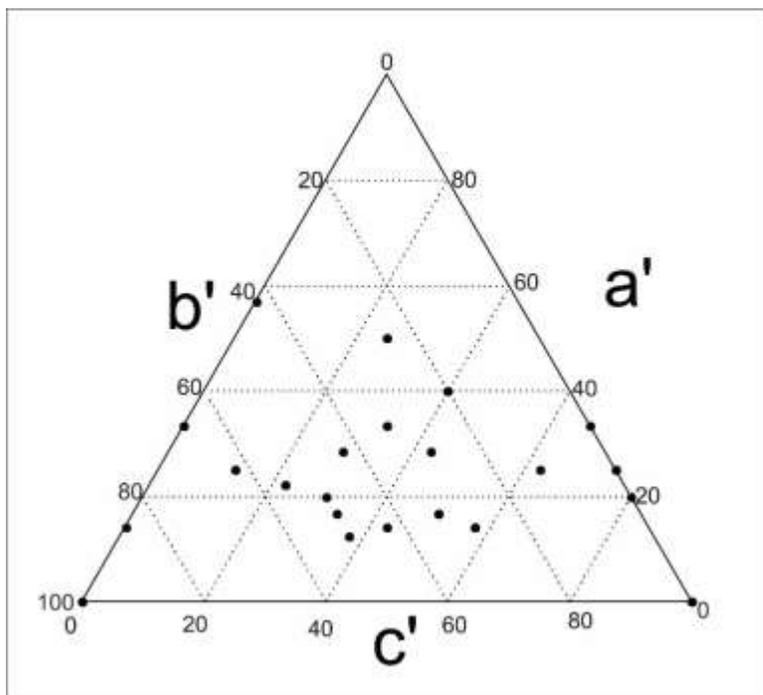


Fig. 9. Diagrama ternario de la diversidad beta ( $\beta_w$ ) de los cladóceros del sureste de Quintana Roo. Donde  $a'$  = Porcentaje de especies compartidas;  $b'$  = Porcentaje de especies únicas en el sitio focal;  $c'$  = Porcentaje de especies únicas en el sitio vecino. La concentración de los puntos se distribuye hacia la base del triángulo, lo cual indica un bajo porcentaje de especies compartidas entre los sitios muestreados.

Tabla 5. Número de especies de cladóceros compartidas entre los sitios muestreados\*.

|             | MUY | SEN | CHIC | SNH | EZ | CBEN | MH | BAC | ENC | CAB |
|-------------|-----|-----|------|-----|----|------|----|-----|-----|-----|
| <b>SEN</b>  | 0   |     |      |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>CHIC</b> | 1   | 0   |      |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>SNH</b>  | 2   | 0   | 1    |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>EZ</b>   | 1   | 0   | 2    | 1   |    |      |    |     |     |     |
| <b>CBEN</b> | 2   | 0   | 2    | 2   | 1  |      |    |     |     |     |
| <b>MH</b>   | 1   | 0   | 1    | 1   | 1  | 1    |    |     |     |     |
| <b>BAC</b>  | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  | 0    | 0  |     |     |     |
| <b>ENC</b>  | 1   | 0   | 2    | 1   | 2  | 1    | 1  | 0   |     |     |
| <b>CAB</b>  | 4   | 0   | 2    | 2   | 2  | 2    | 1  | 0   | 2   |     |
| <b>SJM</b>  | 1   | 0   | 2    | 1   | 2  | 1    | 1  | 0   | 2   | 2   |

Tabla 6. Número de especies de cladóceros que no comparten entre sitios\*.

|             | MUY | SEN | CHIC | SNH | EZ | CBEN | MH | BAC | ENC | CAB |
|-------------|-----|-----|------|-----|----|------|----|-----|-----|-----|
| <b>SEN</b>  | 0   |     |      |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>CHIC</b> | 3   | 4   |      |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>SNH</b>  | 3   | 5   | 4    |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>EZ</b>   | 2   | 3   | 1    | 2   |    |      |    |     |     |     |
| <b>CBEN</b> | 2   | 4   | 2    | 2   | 3  |      |    |     |     |     |
| <b>MH</b>   | 0   | 1   | 0    | 0   | 0  | 0    |    |     |     |     |
| <b>BAC</b>  | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  | 0    | 0  |     |     |     |
| <b>ENC</b>  | 2   | 3   | 1    | 2   | 1  | 2    | 2  | 3   |     |     |
| <b>CAB</b>  | 3   | 7   | 5    | 5   | 5  | 5    | 6  | 7   | 5   |     |
| <b>SJM</b>  | 2   | 3   | 1    | 2   | 1  | 2    | 2  | 3   | 1   | 1   |

\*Comparación fila vs columna

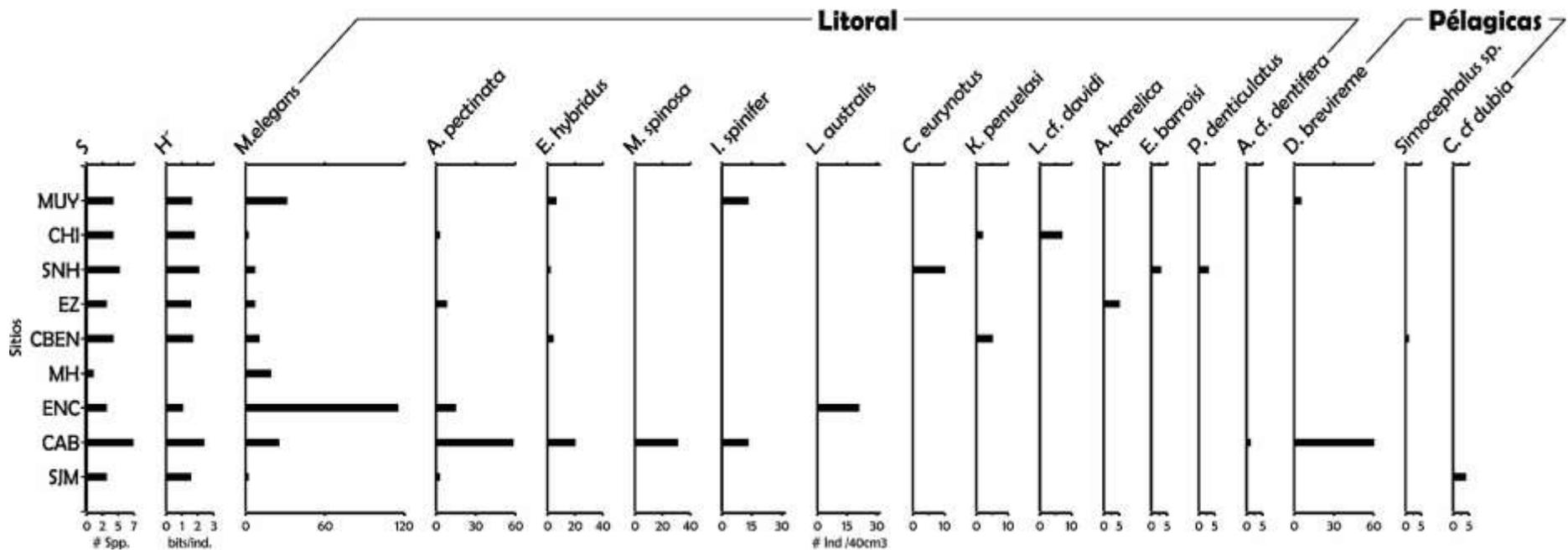


Fig. 10. Riqueza específica, diversidad y densidad de las especies de cladóceros en 11 cuerpos acuáticos muestreados del estado de Quintana Roo. S=Riqueza específica;  $H'$ =Índice de Shannon. Código de los sitios: Muyil (MUY), Señor (SEN), Chichancanab (CHIC), Sijil Noh ha (SNH), Emiliano Zapata (EZ), Chacchoben (CBEN), Miguel Hidalgo (MH), Bacalar (BAC), Encantada (ENC), Chacanbacab (CCAB), San José de la Montaña (SJM) Las especies están divididas en litoral y pelágicas; dentro de estos grupos están acomodadas por densidad de mayor a menor.

## Densidad

Se encontraron un total de 416 cladóceros repartidos en nueve ecosistemas acuáticos. La mayor cantidad de individuos se encontró en Chacanbacab (215 ind./40 cm<sup>3</sup>), mientras que los sitios con menor densidad fueron Chichancanab (14 ind./40 cm<sup>3</sup>) y San José de la Montaña (9 ind./40 cm<sup>3</sup>).

La especie mejor representada fue *M. elegans*, la cual pertenece a la familia Macrothricidae, con un total de 157 cladóceros pertenecientes a esta especie (Fig. 10). Sin embargo, la mayor cantidad de individuos encontrada pertenece a la familia Chydoridae, siendo la especie *A. pectinata* la que obtuvo la mayor densidad de esta familia, y la segunda especie de este estudio con la mayor cantidad de organismos (76 ind./40 cm<sup>3</sup>) (Fig. 10).

La especie *D. brevireme* fue el cladócero pelágico con mayor densidad, ya que, en total en este estudio, se registraron 72 individuos, de los cuales 67 individuos se encontraron en el sitio de Chacanbacab, y cinco en Muyil. El resto de las especies pelágicas se encontraron con menor densidad en este estudio (Fig. 10)

Las especies con menos organismos fueron *P. denticulatus* con 3 individuos y *E. barroisi* con 2 individuos; mientras que de las especies *A. cf. dentifera* y *Simocephalus* sp. únicamente se encontró un organismo de cada una de ellas en todos los lagos muestreados (Fig. 10).

## Relación de las variables ambientales con las especies de cladóceros

De acuerdo con el análisis de correspondencia sin tendencia (DCA por sus siglas en inglés), y la proyección de los vectores ambientales sobre la ordenación de las especies se relacionaron las variables limnológicas y la composición iónica del agua de los ecosistemas acuáticos muestreados con aquellas especies encontradas en dos sitios o más. En el diagrama se puede observar que la especie *M. elegans* se le puede asociar principalmente con los carbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y el pH, mientras que *K. penuelasi* está más relacionada con la conductividad (Fig. 11).

El resto de las variables no fueron proyectadas en el diagrama, dado que no mostraron ninguna relación evidente con las especies analizadas. Asimismo, en este estudio, no fue posible relacionar a las especies *E. hybridus*, *D. brevireme* y *A. pectinata* con ninguna variable limnológica. Se puede observar que las dos primeras especies se encuentran más cercanas entre sí con respecto a las demás (Fig. 11).

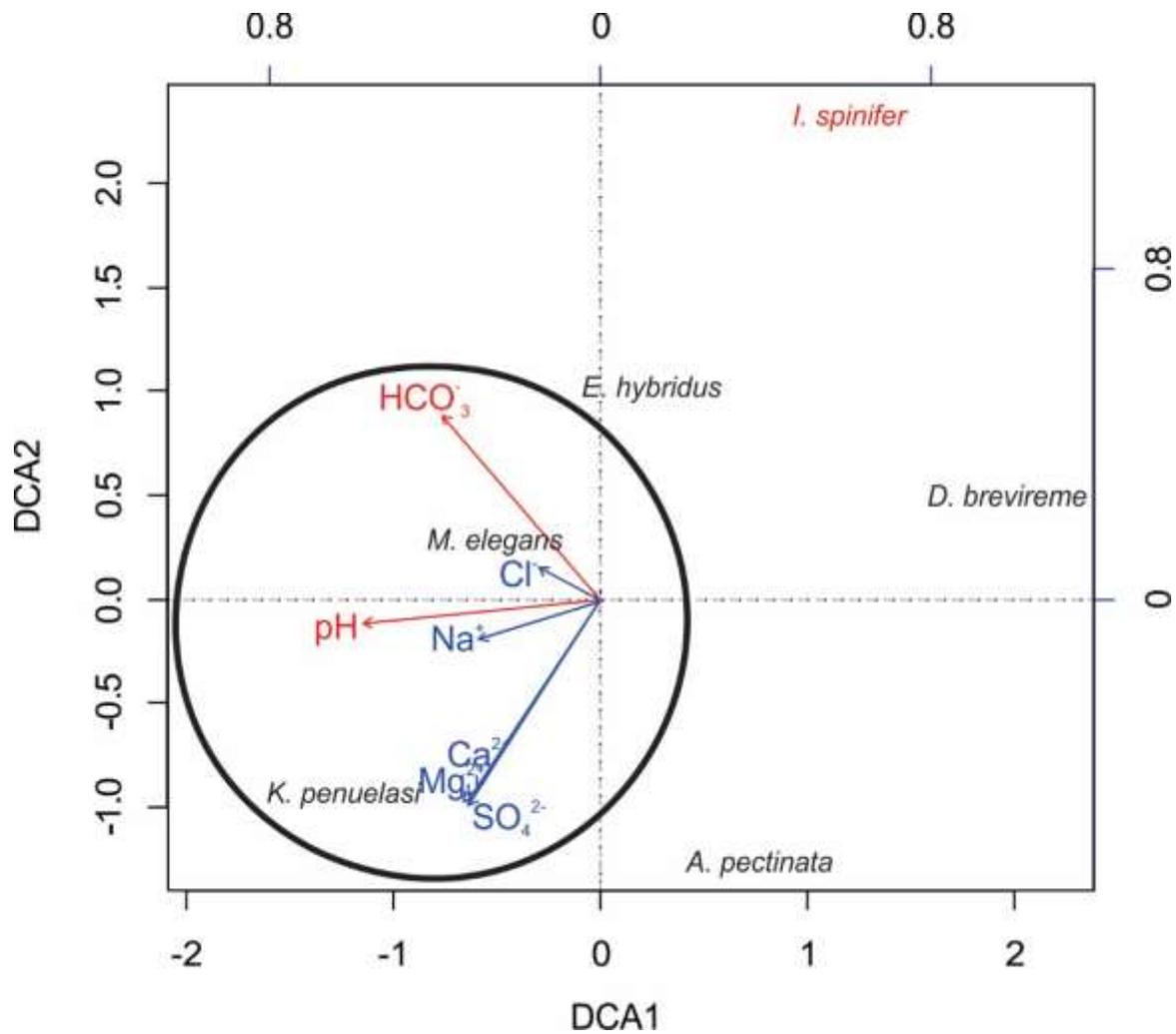


Fig. 11. Diagrama de ordenación de las especies de cladóceros que estuvieron presentes en 2 sitios o más de los lagos del estado de Quintana Roo a partir de un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA, por sus siglas en inglés). Las especies dentro de círculo representan aquellas que están asociadas a altas concentraciones de carbonatos y cambios en el pH.

## Ostrácodos

### Sistemática

Se identificaron un total de 6 familias, 15 géneros y 17 especies, sin embargo, no fue posible asignarles un nivel específico a algunos organismos ya que no correspondieron morfológicamente con lo que ya está descrito en la literatura, por lo que podría tratarse de especies aún no descritas o variaciones morfológicas aún no registradas.

A continuación, se presenta el arregló taxonómico de las especies de acuerdo a las clasificaciones de Martens y Savatentalinton (2011) y las consideraciones de Cohuo *et al.* (2016).

Subphylum Crustacea Brünnich, 1772

Clase Ostracoda Latreille, 1806

Subclase Podocopoda G.W. Müller, 1894

Orden Podocopida G.O. Sars, 1866

Suborden Cypridocopina Baird, 1845

Superfamilia Cypridoidea Baird, 1845

Familia Cyprididae Baird, 1845

Subfamilia Cyprettinae Hartman, 1971

Género *Cypretta* Vavra, 1895

*Cypretta* sp.

Subfamilia Cypridinae Baird, 1845

Género *Chlamydotheca* Saussure, 1858

*Chlamydotheca* sp.

Subfamilia Cypridopsinae Kaufmann, 1900

Género *Cypridopsis* Stuhlmann, 1888

*Cypridopsis vidua* (O.F. Müller, 1776)

Subfamilia Cyprinotinae Bronshtein, 1947

Género *Heterocypris* Clauss, 1892

*Heterocypris putei* (Furtos, 1936)

Familia Candonidae Kaufmann, 1900

Subfamilia Candoninae Kaufmann, 1900

Tribu Candonini Kaufmann, 1900

Género *Pseudocandona* Kaufmann, 1900

*Pseudocandona* sp.

Subfamilia Cyclocypridinae Kaufmann, 1900

Género *Cypria* Zenker, 1854

*Cypria* sp.

*Cypria* cf. *petenensis* Ferguson, Hutchinson & Gouldon, 1964

Género *Physocypria* Vávra, 1897

*Physocypria pustulosa* (Sharpe, 1897)

Género *Keysercypria* Karanovic, 2011

*Keysercypria xanabanica* (Furtos, 1936)

*Keysercypria* sp.

Superfamilia Darwinuloidea Brady & Robertson, 1885

Familia Darwinulidae Brady & Robertson, 1885

Género *Alicenula* Rossetti & Martens, 1998  
*Alicenula* sp.  
Género *Darwinula* Brady & Robertson, 1885  
*Darwinula stevensoni* (Brady & Robertson, 1870)  
Género *Vestalenula* Rossetti & Martens, 1998  
*Vestalenula pagliolii* (Pinto & Kotzian, 1961)  
Superfamilia Cytheroidea  
Familia Cytheridae Baird, 1850  
Género *Perissocytheridea* Stephenson, 1938  
*Perissocytheridea cribosa* (Klie, 1933)  
Familia Cytherideidae  
Subfamilia Cytherideinae  
Tribu Cytherideidini Kollmann, 1960  
Género *Cyprideis* Jones, 1857  
*Cyprideis* sp.  
Familia Limnocytheridae Klie, 1938  
Subfamilia Limnocytherinae Klie, 1938  
Tribu Limnocytherini Klie, 1938  
Género *Limnocythere* Brady, 1868  
*Limnocythere floridensis* Keyser, 1979  
Género *Paracythereis* Delachaux, 1928  
*Paracythereis opesta* (Brehm, 1939)  
Subfamilia Timitiaseviinae Mandelstam, 1960  
Género *Cytheridella* Daday, 1905  
*Cytheridella ilosvayi* Daday, 1905

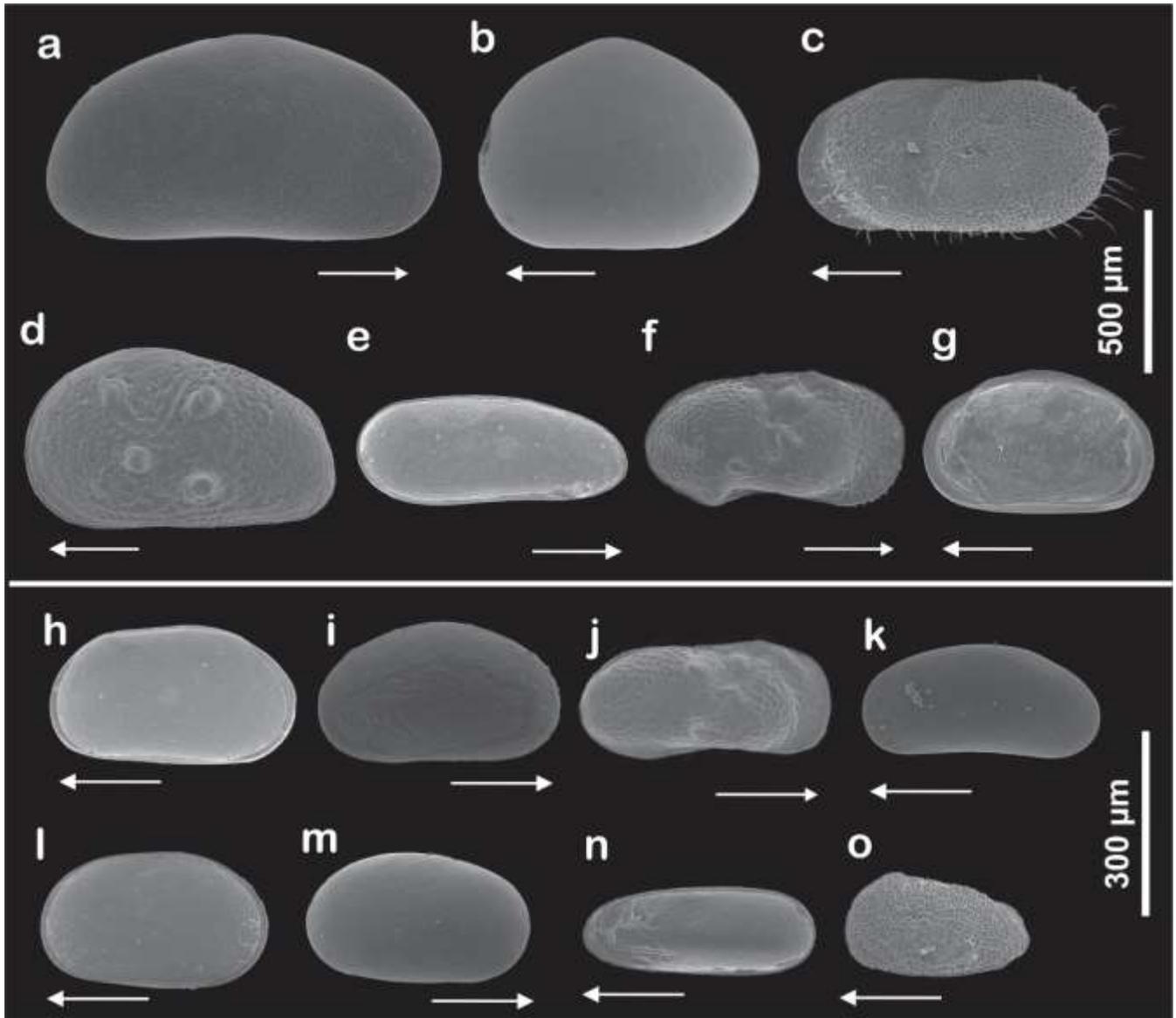


Fig. 12. Fotografías de microscopía electrónica de barrido de las valvas de ostrácodos de Quintana Roo. a) *Heterocypris putei* (vista externa, VD); b) *Cypretta* sp. (vista externa, VI); c) *Cytheridella ilosvayi* (vista externa, VI); d) *Cyprideis* sp. (vista externa, VI); e) *Darwinula stevensoni* (vista interna, VD); f) *Paracythereis opesta* (vista externa, VD); g) *Cypria* sp. (vista interna, VI); h) *Keysercypria xanabanica* (vista interna, VD); i) *Cypridopsis vidua* (vista externa, VD); j) *Limnocythere floridensis* (vista externa, VD); k) *Pseudocandona* sp. (vista externa, VI); l) *Keysercypria* sp. (vista interna, VD); m) *Cypria* cf. *petenensis* (vista externa, VD); n) *Alicenula* sp. (vista interna, VD); o) *Perissocytheridea cribosa* (vista interna, VI). Las flechas debajo de las imágenes indican la cara anterior de las valvas de los ostrácodos. VD= valva derecha, VI= valva izquierda.

### Riqueza específica y diversidad

Se encontraron 17 especies de ostrácodos en los 11 sitios muestreados, de los cuales, los cuerpos acuáticos de Chichancanab y Bacalar registraron la mayor cantidad de especies con 6 cada uno; además de ser los sitios con la mayor diversidad de este estudio (2.14 y 1.92 bits/ind respectivamente). En tercer lugar, en riqueza específica se encuentra el sitio de Encantada en donde se encontraron 5 especies (Tabla 7); mientras que de diversidad fue San José de la Montaña con 1.68 bits/ind. El sitio de Emiliano Zapata únicamente se reportaron dos especies de las 20 identificadas en este estudio, además de ser el sitio que registró el valor más bajo del índice de Shannon (0.47 bits/ind.)

En la curva de acumulación de especies de los ostrácodos, se puede observar que la línea aún no toca completamente la asíntota, sin embargo, parece estar cercana a ella con 17 especies en 11 sitios muestreados (Fig. 13).

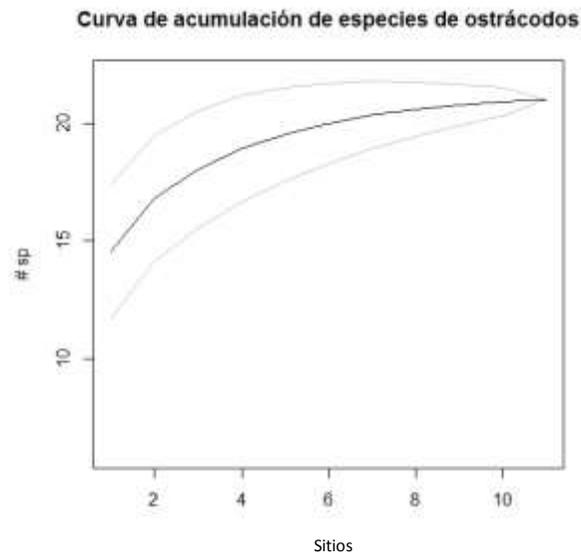


Fig. 13. Curva de acumulación de especies de los ostrácodos muestreados en 11 sitios del centro-sur de Quintana Roo.

La especie más frecuente del grupo de los ostrácodos fue *C. vidua*, la cual se registró en nueve de los 11 sitios muestreados, seguida por la especie *C. ilosvayi*, la cual se encontró en siete sitios. Por el contrario, ocho especies sólo se encontraron en uno de los 11 sitios muestreados (Tabla 7).

De acuerdo al índice de Whittaker, las especies no se encuentran homogéneamente distribuidas en los sitios, debido a que la mayor concentración de los puntos se encontró por debajo del 50% del eje  $\alpha'$  (Fig. 14). Los sitios que comparten el mayor número de especies son Chichancanab y Encantada con San José de la Montaña con tres especies respectivamente (Tabla 8). Mientras que los sitios de Bacalar, Encantada y Chichancanab son los sitios que registran una mayor cantidad de especies únicas (Tabla 9).

Tabla 7. Frecuencia de las especies de ostrácodos entre los sitios. Los sitios presentan un acomodo de mayor a menor riqueza específica y las especies de menor a mayor frecuencia. BAC=Bacalar; CHIC=Chichancanab; ENC=Encantada; SJM=San José de la Montaña; CBEN=Chacchoben; MUY=Muyil; CAB=Chacanbacab; SEN=Señor; SNH=Sijil Noh Ha; MH=Miguel Hidalgo; EZ=Emiliano Zapata.

|                          | BAC | CHIC | ENC | SJM | CBEN | MUY | CAB | SEN | SNH | MH | EZ | # de sitios |
|--------------------------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----|----|-------------|
| <i>Cyprideis</i> sp.     |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 1           |
| <i>P. cribossa</i>       |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 1           |
| <i>Cypria</i> sp.        |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 1           |
| <i>Chlamydotheca</i> sp. |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 1           |
| <i>V. pagliolii</i>      |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 1           |
| <i>Pseudocandona</i> sp. |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 1           |
| <i>K. xanabanica</i>     |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 1           |
| <i>Keysercypria</i> sp.  |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 1           |
| <i>C. cf. petenensis</i> |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 2           |
| <i>D. stevensoni</i>     |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 2           |
| <i>Cypretta</i> sp.      |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 2           |
| <i>Alicenula</i> sp.     |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 3           |
| <i>P. opesta</i>         |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 3           |
| <i>L. floridensis</i>    |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 3           |
| <i>H. putei</i>          |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 4           |
| <i>C. ilosvayi</i>       |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 7           |
| <i>C. vidua</i>          |     |      |     |     |      |     |     |     |     |    |    | 9           |
| Total de especies        | 6   | 6    | 5   | 4   | 4    | 4   | 3   | 3   | 3   | 3  | 2  |             |

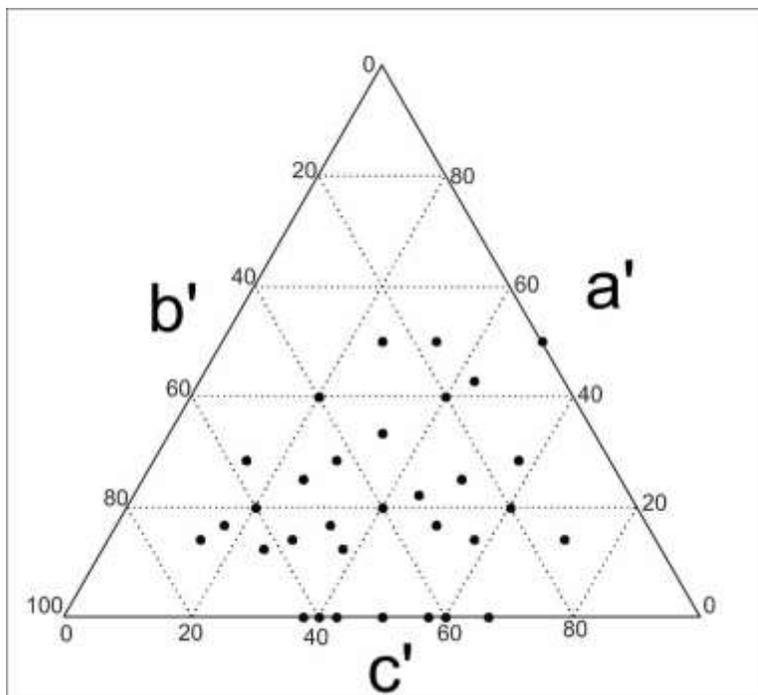


Fig. 14. Diagrama ternario de la diversidad beta ( $\beta_w$ ) de los ostrácodos del sureste de Quintana Roo. Donde  $a'$  = Porcentaje de especies compartidas;  $b'$  = Porcentaje de especies únicas en el sitio focal;  $c'$  = Porcentaje de especies únicas en el sitio vecino. La concentración de los puntos se distribuye hacia la base del triángulo, lo cual indica un bajo porcentaje de especies compartidas.

Tabla 8. Número de especies de ostrácodos compartidas entre los sitios muestreados\*.

|             | MUY | SEN | CHIC | SNH | EZ | CBEN | MH | BAC | ENC | CAB |
|-------------|-----|-----|------|-----|----|------|----|-----|-----|-----|
| <b>SEN</b>  | 1   |     |      |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>CHIC</b> | 2   | 2   |      |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>SNH</b>  | 1   | 2   | 3    |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>EZ</b>   | 1   | 0   | 1    | 1   |    |      |    |     |     |     |
| <b>CBEN</b> | 2   | 2   | 2    | 2   | 1  |      |    |     |     |     |
| <b>MH</b>   | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  | 0    |    |     |     |     |
| <b>BAC</b>  | 2   | 1   | 2    | 2   | 1  | 2    | 1  |     |     |     |
| <b>ENC</b>  | 2   | 0   | 2    | 1   | 1  | 1    | 1  | 2   |     |     |
| <b>CAB</b>  | 1   | 1   | 2    | 2   | 1  | 2    | 1  | 2   | 1   |     |
| <b>SJM</b>  | 2   | 1   | 3    | 2   | 1  | 2    | 0  | 2   | 3   | 2   |

Tabla 9. Número de especies de ostrácodos que no comparten entre los sitios muestreados\*.

|             | MUY | SEN | CHIC | SNH | EZ | CBEN | MH | BAC | ENC | CAB |
|-------------|-----|-----|------|-----|----|------|----|-----|-----|-----|
| <b>SEN</b>  | 2   |     |      |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>CHIC</b> | 4   | 4   |      |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>SNH</b>  | 2   | 1   | 0    |     |    |      |    |     |     |     |
| <b>EZ</b>   | 1   | 2   | 1    | 1   |    |      |    |     |     |     |
| <b>CBEN</b> | 2   | 2   | 2    | 2   | 3  |      |    |     |     |     |
| <b>MH</b>   | 3   | 3   | 3    | 3   | 3  | 3    |    |     |     |     |
| <b>BAC</b>  | 4   | 5   | 4    | 4   | 5  | 4    | 5  |     |     |     |
| <b>ENC</b>  | 3   | 5   | 3    | 4   | 4  | 4    | 4  | 3   |     |     |
| <b>CAB</b>  | 2   | 2   | 1    | 1   | 2  | 1    | 2  | 1   | 2   |     |
| <b>SJM</b>  | 2   | 3   | 1    | 2   | 3  | 2    | 4  | 2   | 1   | 2   |

\*Comparación fila vs columna

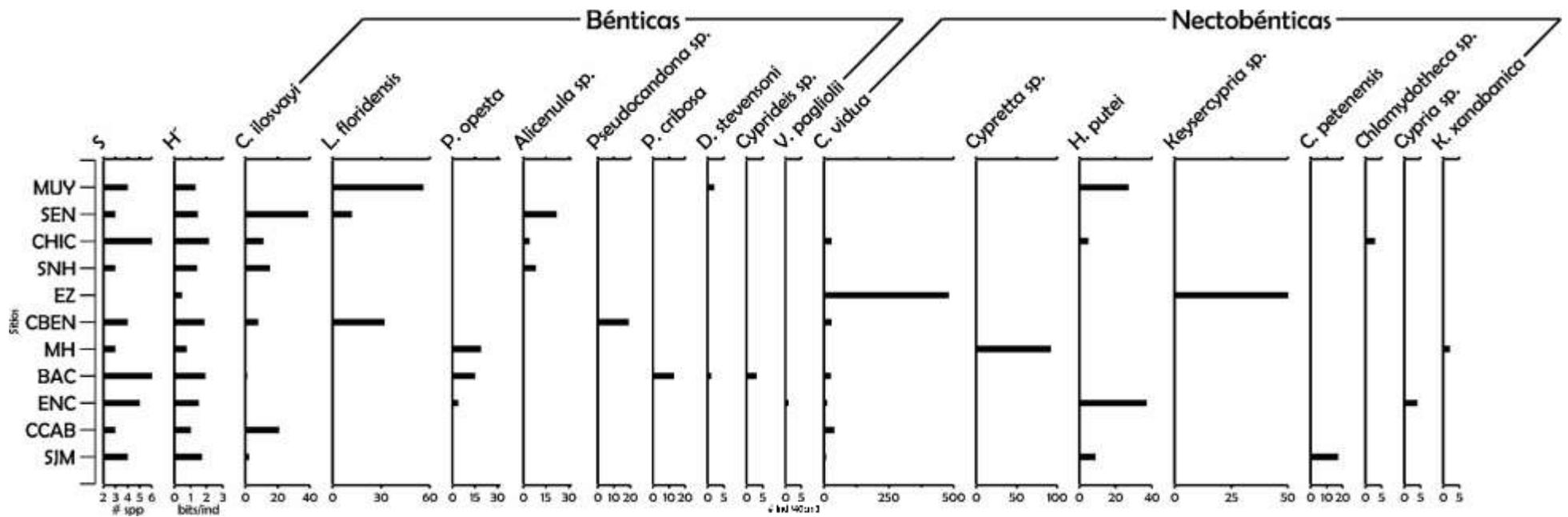


Fig. 15. Riqueza específica, diversidad y densidad de las especies de ostrácodos en 11 cuerpos acuáticos muestreados en el estado de Quintana Roo.  $S$ =Riqueza específica;  $H'$ =Índice de Shannon. Código de los sitios: Muyil (MUY), Señor (SEN), Chichancanab (CHIC), Sijil Noh ha (SNH), Emiliano Zapata (EZ), Chacchoben (CBEN), Miguel Hidalgo (MH), Bacalar (BAC), Encantada (ENC), Chacanbacab (CAB), San José de la Montaña (SJM) Las especies están divididas en bénticas y Nectobénticas; dentro de estos grupos están acomodadas por densidad de mayor a menor.

## Densidad

De un total de 1201 ostrácodos recolectados en este estudio, se identificó que la especie con mayor densidad fue *C. vidua* con 631 individuos en nueve sitios; seguida por la especie *C. ilosvayi* registrando un total de 97 individuos. En tercer lugar, se encontró a *Cyprretta* sp. con 93 individuos en sólo 2 sitios; mientras que en cuarto lugar está *H. putei* con 78 individuos repartidos en cuatro sitios (Fig. 15). En menor cantidad se encontró *Cyprideis* sp., *D. stevensoni* y *Chlamydoteca* sp. con sólo tres organismos de cada especie en todo el estudio. Mientras que de *V. pagliolii*, únicamente se encontró un individuo en el sitio de Encantada (Fig. 15).

El sitio con mayor cantidad de ostrácodos fue Emiliano Zapata con 536 individuos/40 cm<sup>3</sup>, sin embargo, la especie *C. vidua* está altamente representada por un gran número de individuos, seguida por la especie *Keysercyprria* sp. con 54 individuos/40 cm<sup>3</sup> (Fig. 15). El segundo y tercer lugar en densidad de ostrácodos se encontró en los sitios de Miguel Hidalgo, con 113 individuos/40 cm<sup>3</sup>, debido al gran número de individuos de la especie *Cyprretta* sp. (93 individuos/40 cm<sup>3</sup>), y Muyil con 90 ostrácodos de los cuales 56 organismos se identificaron como *L. floridensis* (Fig. 15).

Los cuerpos acuáticos con la menor cantidad de ostrácodos fueron Chacanbacab, con 34 individuos/40 cm<sup>3</sup> y Sijil Noh Ha con 27 organismos.

## Relación de las variables ambientales con las especies de Ostrácodos

A partir de un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA por sus siglas en inglés), se relacionaron las variables limnológicas y composición iónica del agua de los ecosistemas acuáticos muestreados.

Se identificó una asociación de especies conformadas por *L. floridensis*, *C. petenensis*, *H. putei* y *D. stevensoni*. Las variables que se relacionaron con estas especies, de acuerdo a los vectores del diagrama, fueron principalmente los aniones sodio (Na<sup>+</sup>) y potasio (K<sup>+</sup>), y los cationes cloruro (Cl<sup>-</sup>) y carbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>); siendo este último el más representativo (Fig. 16).

Finalmente, cabe señalar que la especie *C. vidua* fue la más alejada del resto de las especies, y que aparentemente la variable más relacionada con este ostrácodo fue el calcio (CA<sup>2+</sup>); sin embargo, la longitud del vector es muy corta. Caso similar ocurre con, las

especies *Alicenula* sp., *P. opesta* y *Cyprretta* sp., donde la relación con las variables ambientales no es tan evidente (Fig. 16).

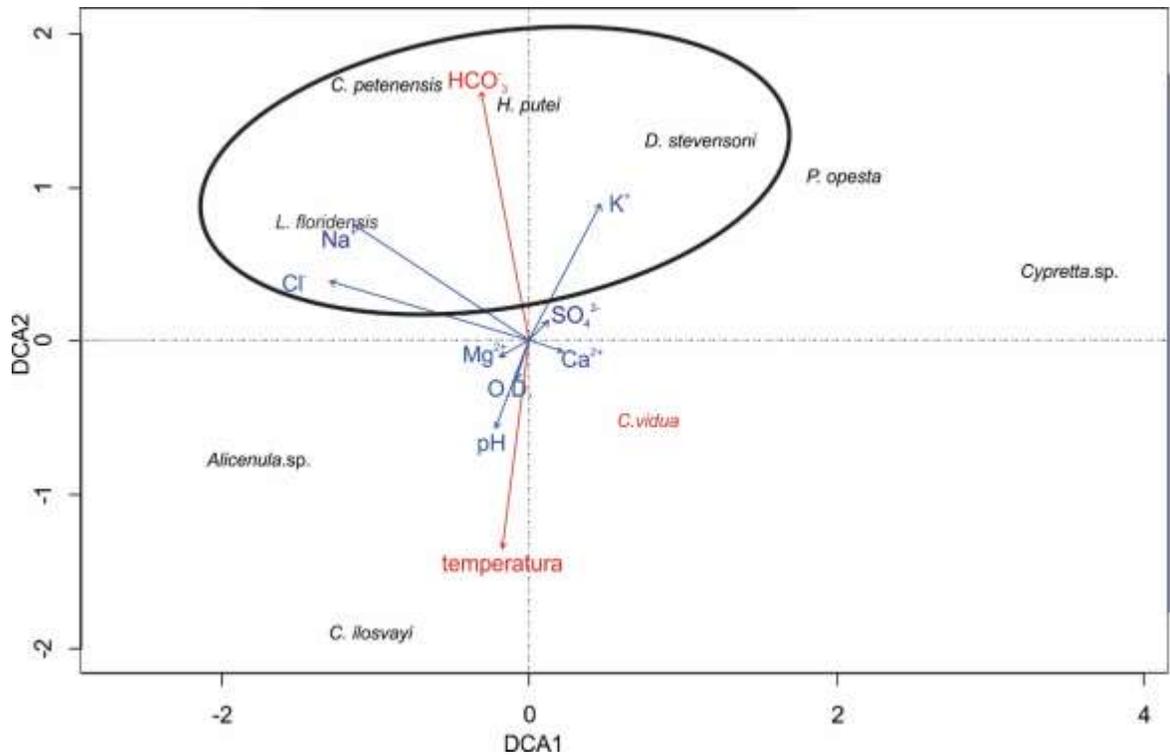


Fig. 16. Diagrama de ordenación de las especies de ostrácodos que estuvieron presentes en 2 sitios o más de los lagos del estado de Quintana Roo a partir de un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA, por sus siglas en inglés). Las especies dentro de círculo representan aquellas que están asociadas a altas concentraciones de conductividades.

## Discusión

### 1. Parámetros limnológicos de los ecosistemas acuáticos muestreados en el sureste del estado de Quintana Roo: composición iónica y pH

La información generada de los sitios: Señor, Sijil Noh Ha, Emiliano Zapata, Chacchoben, Miguel Hidalgo, Encantada, Chacabacab y San José de la Montaña es un primer panorama sobre las condiciones limnológicas de estos cuerpos acuáticos. Mientras que sitios como Chichancanab, Bacalar y Muyil, ya han sido objeto de estudio para comprender principalmente las condiciones hidrogeoquímicas de la región (Perry *et al.*, 2009; Gischler *et al.*, 2011; Lagomasino *et al.*, 2015).

Los ecosistemas analizados en este estudio presentaron características limnológicas similares en la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (Tabla 1) excepto en la conductividad (Fig. 5), siendo los sitios de Chichancanab, Encantada y Bacalar los que presentaron las conductividades más altas ( $>2000 \mu\text{S/cm}$ ), además de registrar elevadas concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$  (Tabla 2). Estas diferencias se deben a las características hidrogeoquímicas registradas en la Península de Yucatán. Perry *et al.* (2002) clasificaron a la península de acuerdo a la geoquímica, estratigrafía, tectónica y superficie del territorio en seis regiones principales. Con base en esta clasificación, a excepción de los lagos Muyil y Señor, los sitios analizados corresponderían a la región de evaporitas, la cual se caracteriza por ser una zona con elevadas concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$ , así como una gran variabilidad de las concentraciones iónicas entre los ecosistemas acuáticos a pesar de las distancias cortas; como lo observado en los sitios de Chichancanab, Encantada y Bacalar.

Perry *et al.* (2002) y Hodell *et al.* (2005) registraron alta cantidad de yeso ( $\text{CaSO}_4$ ) y celestita ( $\text{SrSO}_4$ ) en Chichancanab, asimismo los valores altos de conductividad y la dominancia de  $\text{SO}_4^{2-}$  por la elevada disolución de yeso de las rocas. Esta dominancia iónica influye subterráneamente a los ecosistemas cercanos (Perry *et al.*, 2002), lo cual podría explicar la dominancia iónica en el sitio de Sijil Noh Ha (Fig. 3. Tabla 1). Esta misma dominancia iónica se extiende subterráneamente hasta el sureste de la costa del estado de Quintana Roo, desde Chichancanab hasta el Cenote Azul, que de acuerdo con algunos autores es producto del impacto K/T (por sus siglas en alemán Kreide/Tertiär) (Perry *et al.*, 2002; 2009). Dichas características hidrogeoquímicas explicarían, en este estudio, las concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$  en Bacalar fueran las terceras más altas, comparadas con el resto de los sistemas muestreados, sin embargo, dichos valores no son tan elevados comparados

con estudios previos en el cenote Azul, el cual se encuentra a un costado de la laguna (Perry *et al.*, 2002; Gischler *et al.*, 2011).

Como se mencionó anteriormente, los sitios de Muyil y Señor presentaron características iónicas diferentes al resto de los sitios al contener aguas dominadas por Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> (Tabla 2). Estos resultados coinciden con lo obtenido por Perry *et al.* (2002), quienes mencionaron la diferencia en la dominancia iónica a lo largo de la Península de Yucatán. Estos dos sitios se encuentran situados más hacia el norte del estado, ubicados entre la región de evaporitas y la zona de la fractura de Holbox de acuerdo a la clasificación de Perry *et al.* (2002). La fractura de Holbox se caracteriza por tener una intrusión salina subterránea y puede influir en la composición iónica de los sitios y probablemente Muyil y Señor tienen mayor afinidad a esta región.

Los valores de pH registrados en este estudio fueron básicos (7.7 a 8.9), de acuerdo con Schmitter-Sotto *et al.* (2002) es una característica química común en los ambientes kársticos de la Península de Yucatán (Fig. 5). No obstante, Cervantes-Martínez (2005) reportó que es posible observar ligeras diferencias en el pH entre los ecosistemas acuáticos de Quintana Roo a pesar de su cercanía, lo cual se relaciona con el estado trófico de los sitios, ya que en sistemas kársticos, el pH tiende a ser más básico cuando su madurez y estado trófico es mayor.

## **2. Riqueza y composición específica de las comunidades de cladóceros y ostrácodos en el litoral de los ecosistemas acuáticos del sureste de Quintana Roo**

La riqueza específica total muestreada fue similar entre grupos taxonómicos (16 de cladóceros y 17 de ostrácodos). De acuerdo a los registros mencionados en la bibliografía (Van de Velde *et al.*, 1978; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2001; 2006; 2008; Pérez *et al.*, 2013), el número de especies de cladóceros encontrados en este estudio fue bajo, en principio por el reflejo de haber considerado sólo una muestra por sitio y porque el diseño de colecta (draga tipo Ekman) estuvo dirigido principalmente a la fauna béntica de la zona litoral, incluso en Bacalar y Señor no se registraron cladóceros en la muestra analizada. En cambio, con respecto a los ostrácodos, la riqueza específica encontrada fue ligeramente mayor (17 especies) a la mencionada en la bibliografía para el estado de Quintana Roo (14 especies) (Furtos, 1936; 1938; Pérez, 2010; Cohuo, 2010; Pérez *et al.*, 2010; Cohuo *et al.*, 2012), mientras que de acuerdo al inventario de especies Neotrópicas se encontró el 14% de las 118 especies reportadas para el Neotrópico caribeño (Cohuo *et al.*, 2016).

En Bacalar se han registrado organismos pertenecientes a estos crustáceos, como la especie *M. elegans* (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008). Un cuerpo con las dimensiones de Bacalar requiere de un esfuerzo de muestreo mayor al que se realizó en este estudio, al ser uno de los cuerpos acuáticos más grandes del estado. En cuanto a Señor, este es el primer trabajo que se realiza enfocado a la fauna crustáceos, por lo que se recomienda continuar con los estudios en este sitio explorando diferentes microhábitats, así como incrementar el esfuerzo de muestreo, y en diferentes temporalidades para conocer el inventario de estos crustáceos en este sitio.

La riqueza específica para cada sitio fue diferente para ambos grupos de crustáceos. Mientras los cladóceros en Chacabacab mostraron la mayor riqueza específica (siete especies) (Tabla 4), los ostrácodos lo hicieron en Chichancanab y Bacalar con seis especies cada uno (Tabla 7). En cuanto a la riqueza específica de cladóceros por sitio, se encontró un promedio de cuatro especies por ecosistema. Es interesante señalar que los resultados obtenidos fueron similares a estudios anteriores, ya que en la región sureste de México e inclusive en las tierras bajas neotropicales, se han registrado sitios con un número de especies similar al de este estudio (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2013). En cuanto a los ostrácodos, en este estudio se encontró un promedio de cuatro especies por sitio, mientras que Pérez *et al.*, (2010), registraron entre seis y ocho especies por ecosistema en las tierras bajas de la península, mientras que, en el Lago de Petén Itzá se han encontrado hasta 11 especies.

Para ambos grupos, pocas especies se encontraron con altas frecuencias, principalmente aquellas cuya distribución biogeográfica es amplia. El cladóceros con mayor frecuencia fue *M. elegans* estando presente en todos los sitios donde se registraron a estos crustáceos (Tabla 4), confirmando que fue uno de los cladóceros más comunes tanto del estado de Quintana Roo como del Neotrópico (Garfías-Espejo & Elías-Gutiérrez *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2013). La familia Chydoridae fue la mejor representada, siendo la más común en el bentos de los ecosistemas acuáticos, junto con las familias Macrothricidae e Ilyocryptidae. Estas familias son las más comunes en el bentos de los ecosistemas acuáticos (Kotov, 2006). Este hallazgo confirmó que el muestreo utilizado sí refleja las comunidades benticas, a pesar de encontrar algunos organismos de familias pelágicas. Se encontraron 10 especies de la familia Chydoridae repartidas en nueve de los 11 sitios muestreados, aunque con bajas frecuencias. De esta familia, la especie más frecuente fue *A. pectinata* y la segunda entre los cladóceros (Tabla 4). En cuanto a ostrácodos, *C. vidua*

obtuvo la mayor frecuencia encontrándose en nueve de los 11 sitios muestreados (Tabla 7), y al igual que en el caso de los cladóceros cuenta con una amplia distribución y es considerada una especie cosmopolita, común en la región Neotropical (Cohuo *et al.*, 2016). La especie *C. ilosvayi* se encontró en cinco sitios (Tabla 7), y de acuerdo a Cohuo *et al.*, 2016 también es común en el Neotrópico (Cohuo *et al.*, 2016). Sin embargo, otras especies sólo estuvieron presentes un sitio, lo cual, en algunos casos si podría estar relacionado con condiciones extremas con elevadas conductividades, como se ha explicado para las especies *Cyprideis* sp. y *P. cribosa* (Pérez *et al.*, 2013; Ruiz *et al.*, 2013; Nogueira & Ramos, 2016). No obstante, las bajas frecuencias del resto de las especies podrían deberse a factores del muestreo, o también por aspectos no considerados en este estudio como interacciones biológicas como depredación y competencia, relación con otras especies, así como con las historias de vida de las mismas (Meish, 2000), un tema poco explorado en muchas de las especies neotropicales.

La estimación del recambio de especies (diversidad beta) a lo largo de la región centro y sur de Quintana Roo permitió evaluar las diferencias del recambio de especies entre los sitios muestreados. Los resultados sugieren que la distribución de estos dos grupos de crustáceos no es homogénea (Figs. 8 y 9), implicando que son pocas las especies que se comparten entre los sitios (Tablas 6 y 9). Muyil y Chacanbacab, fueron los sitios que compartieron el mayor número de especies de cladóceros (4 spp.), mientras que para ostrácodos fue el sitio de Chichancanab compartiendo tres especies con San José de la Montaña, y Sijil Noh Ha. Para ambos grupos, las especies que más se comparten son principalmente aquellas ampliamente distribuidas. En el caso de los cladóceros: *M. elegans* y *A. pectinata*, y en los ostrácodos: *C. vidua*, *C. ilosvayi* y *H. putei*. La distribución regional heterogénea de las especies se puede considerar que se ve influenciada por diversos factores que intervienen no sólo en la presencia de estos organismos, ya que además pueden llegar a influir en las densidades dichas especies.

### **3. Relación de la composición iónica y pH con las densidades y preferencias ecológicas de las especies de cladóceros y ostrácodos en los ecosistemas muestreados**

En el presente estudio se realizó un análisis local de estos dos grupos de crustáceos y su relación con el medio que habitan, muestreando una región relativamente pequeña, que abarca únicamente la parte centro y sur del Estado de Quintana Roo, a diferencia de otros trabajos donde abarcan un área geográfica mayor (Pérez *et al.*, 2013). Esto brinda

una ventaja, ya que la zona analizada, debido a su geomorfología, no presenta cambios contrastantes de altitud, de manera que se puede asumir como constante el efecto de la elevación. Esta variable ha sido reportada como determinante en la distribución de especies de ambos grupos (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008; Echeverría-Galindo, 2016), ya que afecta de manera directa a otras variables como temperatura y precipitación entre otras. Un estudio a escala regional más pequeña permite un mejor discernimiento de variables con efectos más finos sobre la distribución de especies, como es el caso de las variables limnológicas. Así mismo, mientras más extensa es el área en que se trabaja, es aún más incierta la identificación de las especies, si no se combina en el estudio la morfología, ecología y genética.

En este estudio se identificó a la composición iónica y el pH, como variables que se asociadas con algunas de las especies. Dichos parámetros no han sido estudiados a detalle en el pasado para esta región. Cabe señalar que, en los análisis estadísticos, no se incluyeron especies que se encontraron únicamente en un sitio y que presentaron bajas densidades (Fig. 10 y 15), debido a los supuestos que deben cumplirse para realizarlos. Los análisis permitieron identificar la relación entre las especies del cladóceros *M. elegans*, (Fig. 11) y los ostrácodos *H. putei* y *C. petenensis* (Fig. 16) con elevadas concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  en el agua y *L. floridensis* con la dominancia del ion  $\text{Na}^+$ . Estos resultados, evidencian una relación entre estas especies y la composición iónica de los lagos, siendo más evidente para los ostrácodos. Así, este estudio confirma el potencial de los ostrácodos como bioindicadores de la composición iónica. Smith (1993) y Mischke *et al.* (2012) han observado que otras especies de los géneros *Heterocypris* y *Limnocythere* son buenas indicadores de la composición iónica de los sistemas de acuerdo a sus densidades. Estos resultados contribuyen a ampliar el conocimiento que se tiene de estas especies y su relación con variables ambientales, ya que reportes anteriores las han relacionado principalmente con profundidad, pH y tipos de sustrato (Keyser, 1978; Pérez *et al.*, 2010; Echeverría-Galindo, 2016).

Los resultados obtenidos no arrojaron relación de ninguna especie de ostrácodos con  $\text{SO}_4^{2-}$ , que como se mencionó anteriormente fue uno de los iones dominantes en casi todos los sitios, principalmente en Chichancanab y Bacalar. Si bien estos ecosistemas presentaron los valores más altos del índice de Shannon (2.1 y 1.9 bits/ind.) (Fig. 15), no se identificó que estuviera relacionado con la dominancia iónica de sulfatos. Sin embargo, la complejidad hidrogeoquímica que se pudo identificar en este estudio, como en otros

publicados anteriormente a lo largo de Quintana Roo (Perry *et al.*, 2002), permite proponer analizar más a fondo si existe una relación entre las concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$  y las especies de ostrácodos neotropicales; como se ha reportado en otras especies de estos crustáceos, donde se ha observado que aumentan su abundancia en sitios con elevadas concentraciones de este ion, tal es el caso de la especie *Limnocythere staplini* Gutentag & Benson, 1963 (Smith, 1993).

Dentro de los cladóceros, el vector del pH se podría asociar a la especie *M. elegans* (Fig. 11). Araujo *et al.* (2008), observo cambios en la abundancia de esta especie relacionado con la acidificación de los lagos, por lo que se ha propuesto como bioindicadora de dicha variable. En este estudio se encontró su máxima abundancia en el sitio de Encantada (115 ind./40 cm<sup>3</sup>), donde el pH fue uno de los más cercanos a la neutralidad (7.8). Sin embargo, con los datos obtenidos en este estudio, se dificulta establecer si existe dicha relación en los ambientes acuáticos de Quintana Roo. Como se ha registrado en otras especies de cladóceros, donde sí se ha observado que esta variable afecta significativamente la densidad de las poblaciones de cladóceros, como en la familia Chydoridae, ya que cambios de pH afectan el desarrollo de los huevos (De Eyto & Irvine, 2001).

El cladóceros *K. penuelasi*, no se relacionó directamente con la composición iónica como con otras especies. De acuerdo con lo observado (Fig. 11), este crustáceo podría tener un amplio intervalo de tolerancia de conductividad, ya que en este estudio se encontró tanto en sitios con valores altos como Chichancanab (3700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), como en sitios de conductividades bajas como Chacchoben (300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ); aunque, en ambos sitios con bajas abundancias (Fig. 10). Los registros de esta especie son pocos hasta la fecha, ya que desde que fue descrita a partir de organismos colectados en Aguascalientes, México (Dumont & Silva-Briano, 2000) sólo se había realizado un registro adicional en Colombia (Fuentes-Reines & Elmoor-Loureiro, 2015). Este estudio confirma la presencia de *K. penuelasi* más al sur de México, coincidiendo con lo propuesto de que se extiende desde el centro de México hasta Sudamérica (Fuentes-Reines & Elmoor-Loureiro, 2015). Sería interesante en futuros estudios, incrementar el esfuerzo de muestreo, que permita establecer un intervalo de tolerancia de esta especie con respecto a la conductividad.

Se registraron especies que, a pesar de ser incluida en los estadísticos, no fue posible relacionarlas con ninguna variable ambiental. Ejemplo de ello fue *A. pectinata*, uno de los cladóceros más abundantes y con mayor frecuencia (Fig. 10), el cual no se asoció

con ninguna de las variables medidas en este estudio (Fig. 11). Es importante recalcar que en el sitio de Chacanbacab se encontró la mayor densidad de esta especie (58 ind./ 40 cm<sup>3</sup>), lo cual podría indicar que dicho ecosistema cuenta características óptimas para las poblaciones de esta especie.

En cuanto a ostrácodos, tampoco fue posible asociar alguna variable ambiental con la especie *C. vidua*, la cual presentó la mayor densidad, además de ser la más frecuente (Fig. 15). Así como hay especies que benefician o que su distribución se ve afectada por determinadas variables ambientales, existen otras que son más tolerantes a las variables ambientales, tal es el caso de este ostrácodo y se ve influenciada por variables bióticas. Este crustáceo ha sido reportado como tolerante a parámetros como altitud (Echeverría-Galindo, 2016), composición iónica (Smith, 1993; Mischke *et al.*, 2012), pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad (Külköylüoğlu, 2004; Külköylüoğlu *et al.*, 2007). Sin embargo, se ha observado que sus preferencias ecológicas están principalmente relacionadas a la presencia de la vegetación acuática, incluyendo la morfología de su caparazón globular que está adaptada para nadar entre la vegetación (Roca *et al.*, 1993). La relación de esta especie con la vegetación podría ser aún más estrecha, ya que se ha observado que tiene preferencia por litorales con presencia de la planta *Chara fragilis* Desvaux, 1810 (Roca & Danielopol, 1991). Sin embargo, dicha relación aún no ha sido confirmada en la región Neotropical, ni en el estado de Quintana Roo, por lo que se sugiere estudiar la relación de las especies de ostrácodos con variables biológicas que incluyan el tipo de sustrato y el tipo de vegetación, para explicar un poco más de la ecología de especies como *C. vidua* en esta región.

Caso similar ocurre con la familia de cladóceros Chydoridae, la cual fue una de las mejores representadas en este trabajo, principalmente en el sitio de Chacanbacab, donde además de encontrar una alta densidad de cladóceros (215 ind./40 cm<sup>3</sup>), también se obtuvo el valor más alto de diversidad (2.4 bits/ind.). Estos valores podrían estar asociados con una gran cantidad de vegetación acuática sumergida, ya que diversos estudios han establecido que el principal factor que influye en la comunidad de estos cladóceros es la presencia de la vegetación acuática. Asimismo, a su vez, se relaciona a la gran cantidad de detritus que origina la descomposición de estas macrofitas y que son alimento para estos y otros organismos (Matsuda *et al.*, 2015). Así, se refuerza la necesidad de estudiar la vegetación en estos sitios.

Finalmente, es importante señalar, que si bien es cierto que los cladóceros pueden estar estrechamente relacionados con los cambios de variables ambientales como el pH y la química del agua (Fig. 11). Falta detallar la posible relación de estas poblaciones con factores bióticos, que se ha visto que son imprescindibles en la distribución de cladóceros, como complejidad del hábitat e interacciones del tipo competencia y relación depredación-presa (Binford, 1986; De Bernardi *et al.*, 1987). Sobretodo, considerando que dichas relaciones presentan un comportamiento diferente y complejo entre los lagos a diferentes latitudes, por ejemplo en lagos someros templados se ha observado que las plantas sumergidas funcionan como un mejor refugio en la depredación pez/cladóceros, mientras que en los lagos subtropicales son las plantas libre flotadoras las que brindan dicha protección (Meerhoff *et al.*, 2007). Por otro lado, la biología de depredadores de estos crustáceos como peces, tienden a ser diferentes, en el caso de los lagos tropicales se ha observado que su reproducción es continua a lo largo del año, influyendo así las comunidades de cladóceros, mientras que en lagos templados, presenta una temporalidad, lo cual beneficia a las poblaciones (Van Leeuwen *et al.*, 2007)

#### **4. El uso de los cladóceros y ostrácodos como (paleo) bioindicadores**

Al ser crustáceos comunes y abundantes en los ecosistemas acuáticos y existir una estrecha relación entre las especies y los parámetros ambientales y biológicos, los cladóceros y los ostrácodos se han convertido en una herramienta útil como bioindicadores (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008; Ruiz, *et al.*, 2013). Sin embargo, estas interpretaciones requieren de diversos estudios ecológicos, que permitan confirmar cuantitativamente dicha relación, especialmente en la región norte Neotropical, donde los estudios aún son escasos. De esta manera, en este trabajo se aporta información cuantitativa y cualitativa sobre la relación que existe entre variables limnológicas y las especies, para conocer su potencial como especies bioindicadoras.

Las relaciones observadas en este estudio de ostrácodos con la composición iónica del agua, tal es el caso de *H. putei* y *C. petenensis* con  $\text{HCO}_3^-$  y *L. floridensis*, con  $\text{Na}^+$  (Fig. 16), abre un camino a utilizar dichos taxa como potenciales bioindicadores. Puesto que se pretende que en un futuro se pueda determinar la composición iónica del agua a partir del ensamble de especies, sin la necesidad de análisis químicos. Anteriormente, la clase Ostracoda ha sido utilizada como bioindicadores asociados a determinadas condiciones limnológicas como pH, temperatura y profundidad del agua, así como el tipo de sustrato en el que habitan (Keyser, 1978; Ruiz *et al.*, 2013). Por otro lado, estos crustáceos también

han funcionado como bioindicadores de las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos. En este estudio, se encontraron densidades altas de la especie *C. vidua* en el sitio de Emiliano Zapata, dando como resultado que obtuviera la densidad más alta de todos los ecosistemas (Fig. 6). El 96% de los organismos encontrados en este sitio fueron ostrácodos, los cuales obtuvieron una baja diversidad al sólo encontrar dos especies en este sitio (Fig. 15). En otros estudios se ha reportado que elevadas abundancias de especies cosmopolitas (tal es el caso de *C. vidua*), pueden ser indicios de una baja calidad del agua en el que habitan (Külköylüoğlu, 2004; Külköylüoğlu *et al.*, 2007; Allen *et al.*, 2011). De esta manera, a los ostrácodos también se les ha utilizado como bioindicadores del impacto humano (Ruiz *et al.*, 2005; Allen *et al.*, 2011). Se ha demostrado que las comunidades de ostrácodos pueden verse influenciadas por actividades antropogénicas, entre ellas el uso de suelo como la agricultura, donde incluso el efecto sobre las comunidades puede ser positivo, aumentando las abundancias de los organismos ante las descargas agro-industriales en los ecosistemas acuáticos (Gómez & Hendrickx, 1997).

Como se mencionó anteriormente, se observó una relación del cladóceros *M. elegans* con el pH, además de ser la especie que se encontró con mayor densidad y mayor frecuencia de este grupo. Esta especie ya es utilizada en la actualidad como una especie indicadora de acidificación de los lagos en otros sitios del Neotrópico, y ha sido comprobado tanto en condiciones de laboratorio, como en sistemas naturales (Muñoz-Mejía *et al.*, 2007; Araújo *et al.*, 2008). Así, sería una especie potencial para ser utilizada como bioindicadora de la acidificación de los lagos en el estado de Quintana Roo.

El principal interés en conocer la ecología de estos crustáceos en la actualidad, radica en que este tipo de estudios son la base para las paleorreconstrucciones que utilizan a estos organismos como paleobioindicadores. El uso de estos grupos en las paleorreconstrucciones climáticas y ambientales en la región Neotropical, se puede considerar aún joven, ya que aún son pocos los estudios que los utilizan detalladamente como paleobioindicadores (Pérez *et al.*, 2010; Vázquez-Molina *et al.*, 2016).

El presente estudio brindó un panorama confiable de algunas especies presentes en los ecosistemas acuáticos de esta región (Figs. 10 y 15). Esta información resulta sumamente importante en los estudios paleolimnológicos, ya que ambos grupos de crustáceos son utilizados como paleobioindicadores de los niveles de profundidad (Jeppesen *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2010). Dicha interpretación se realiza mediante la relación de especies litoral/pelágicas en cladóceros y bénticas/nectobénticas en ostrácodos

(Jeppesen *et al.*, 2001). Dadas las observaciones de este estudio se sugiere tener cautela con dicha relación, ya que, en el caso de cladóceros, es posible encontrar especies de géneros pelágicos con densidades elevadas (e.g. *D. brevireme*). En el caso de los ostrácodos es importante señalar que se encontró el mismo número de especies bénticas y nectobénticas (Fig. 15). Lo cual conlleva a incrementar el estudio de ambos crustáceos que viven en la zona profunda de los ecosistemas acuáticos, que como se ha visto con los ostrácodos en el lago de Petén Itzá, es posible realizar una zonación del lago, de acuerdo al ensamble de especies de estos crustáceos (Pérez *et al.*, 2010).

Con la información obtenida en este estudio, se pretende que las futuras reconstrucciones que utilicen a los ostrácodos y cladóceros como paleobioindicadores en los ecosistemas acuáticos, tengan una mayor confiabilidad, puesto que se aporta información básica sobre la ecología de estos crustáceos en un tiempo presente, y que se puede complementar con las funciones de transferencia que ya se han obtenido para estos organismos y variables ambientales (Pérez *et al.*, 2013; Echeverría-Galindo, 2016).

Además, los resultados observados en este estudio, abre un panorama sobre el potencial de los ecosistemas acuáticos de Quintana Roo como objeto de estudio desde diversos enfoques, por ejemplo, es posible plantear algunos sitios como Bacalar, Chichancanab, Encantada y Chacanbacab, como sitios potenciales para generar conocimiento más detallado sobre la ecología de estos crustáceos. Puesto que Bacalar, Chichancanab, Encantada presentaron condiciones muy particulares como elevadas conductividades y condiciones iónicas, lo cual permitirá establecer intervalos de tolerancia para las especies, así como su comportamiento a través del tiempo. O en el caso del sitio de Chacanbacab, donde se observó una gran diversidad de cladóceros, lo cual daría paso a estudios de la ecología de este grupo, incluso a nivel poblacional. Por otro lado, sitios como Bacalar, Muyil y Chacchoben, cuentan con sitios arqueológicos muy cercanos, además de una importante historia humana (Witschey, 1988; Olivera-Gómez, 2002; Conover-Blancas, 2016), que los vuelve potenciales para futuros estudios paleolimnológicos que permitan conocer cambios relacionados con el impacto humano desde tiempos pre-colombinos hasta modernos. Esto facilita la interpretación de cómo las poblaciones humanas impactaron a los ecosistemas que habitaron (Zolitschka *et al.*, 2003; Foley *et al.*, 2013).

Cabe señalar que los ostrácodos y cladóceros son únicamente dos grupos taxonómicos de otros paleobioindicadores que pueden encontrarse en los ecosistemas

acuáticos de Quintana Roo. Otros grupos importantes como las amebas testadas, diatomeas, quironómidos entre otros, ofrecen otro tipo de información complementaria como productividad y estado trófico (Pérez *et al.*, 2013). En el caso de las amebas testadas y los quironómidos, se conoce muy poco sobre su ecología en esta región. Además, que su estudio se vuelve más complejo debido a que las amebas testadas presentan un menor tamaño que los ostrácodos y los cladóceros, lo cual dificulta su identificación. Sin embargo, para los crustáceos analizados en este estudio, se tiene la desventaja frente a otros paleobioindicadores el hecho de que, no se preservan partes bucales o locomotoras que pueden llegar a ser fundamentales para la identificación taxonómica, a diferencia de otros bioindicadores que se pueden identificar casi con mayor certeza, únicamente con lo que se preserva en los sedimentos, como lo menciona Payne, (2013) para el caso de las amebas testadas o las diatomeas). No obstante, si se posee un buen conocimiento de la fauna actual de sitios cercanos o similares al área de estudio, así como un registro de valvas y preparaciones de organismos de cladóceros u ostrácodos actuales, las identificaciones a partir de microfósiles podrán ser más fáciles y tendrán una mayor certeza y validez.

El presente estudio logró, mediante la comparación de las comunidades de cladóceros y ostrácodos, no sólo incrementar el conocimiento de la diversidad de estos crustáceos en el bentos en la zona litoral de diferentes ecosistemas de Quintana Roo. Por otra parte, permitió relacionar a estas especies con variables ambientales que no se habían relacionado para esta región principalmente la composición iónica y el pH. Asimismo, esta información se pretende sea una contribución que facilite la interpretación de futuros estudios paleolimnológicos.

## Conclusiones

Los ecosistemas acuáticos muestreados presentaron diferencias, principalmente en su conductividad, composición iónica y pH. Los sitios de Chichancanab, Bacalar y Encantada resaltaron de entre los 11 sitios muestreados debido a sus elevadas conductividades y altas concentraciones de sulfatos, mientras que sitios como Muyil y Señor, se diferenciaron por presentar mayores concentraciones de  $\text{Cl}^-$ . En el resto de los sitios la dominancia fue principalmente por  $\text{HCO}_3^-$ .

Las comunidades de ambos grupos de microcrustáceos no demostraron ser homogéneas entre los sitios muestreados. Por otro lado, se lograron asociar especies con algunas de las variables ambientales medidas, tal es el caso de los ostrácodos con la composición iónica. Por ejemplo, altas concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  (*H. putei*, *C. petenensis*), o de  $\text{Na}^+$  (*L. floridensis*). En cuanto a cladóceros, la relación ambiente/especie fue menos evidente, rescatando al cladócero *M. elegans*, el cual figuró una relación con el pH, que, si bien se midieron valores básicos entre los sitios, estos fueron diferentes entre sí, encontrando la mayor densidad de este cladócero en uno de los sitios con el valor más cercano a la neutralidad (Encantada,  $\text{pH}=7.8$ ). Además, *K. penuelasi* mostró un amplio intervalo de tolerancia a la conductividad al ser encontrado en sitios cuyas mediciones fueron contrastantes (Chichancanab =  $3700 \mu\text{S cm}^{-1}$  y Chacchoben =  $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ ).

Por otro lado, es importante tener en cuenta que los datos limnológicos medidos en este estudio no fueron suficientes para interpretar la variabilidad en la distribución de todas las especies de microcrustáceos, lo cual podría estar relacionado con interacciones bióticas y la mediación del medio ambiente en las respuestas ambientales en las poblaciones.

Las asociaciones encontradas entre las variables ambientales y las especies, así como las bases cuantitativas presentadas en este trabajo serán de gran utilidad para futuros estudios paleolimnológicos, cuyas interpretaciones tendrán un mayor detalle en cuanto a pH y composición iónica en sitios similares de estudio. Además, este estudio provee información de utilidad que funciona como una referencia actual para poder comparar las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos en el pasado.

**B**

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahyong, S. T., Lowry, J. K., Alonso, M., Bamber, R. N., Boxshall, G. A., Castro, P., Gerken, S., Karaman, G. S., Goy, J. W., Jones, D. S., Meland, K., Rogers, D. C. & Svavarsson, J. 2011. Subphylum Crustacea Brünnich, 1772. En *Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*, Z. Q. Zhang (ed.). *Zootaxa*, 3148:165-191.
- Alcocer, J., & Bernal-Brooks, F. W. 2010. Limnology in Mexico. *Hydrobiologia*, 644, 15-68.
- Allen, P. E. & Dodson, S. I. 2011. Land use and ostracod community structure. *Hydrobiologia*, 668(1): 203-219.
- Araújo, C. V. M., Cohin-de-Pinho, S. J., Chastinet, C. B. A., Delgado Santana, F., & Da Silva, E. M. 2008. Potential of the tropical cladocerans *Latonopsis australis* Sars, 1888 and *Macrothrix elegans* Sars, 1901 as biomonitors of an acidic lake. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20(2): 111-118.
- Bauer-Gottwein, P., Gondwe, B. R. N., Charvet, G., Marin, L. E., Rebolledo-Vieyra, M., & Merediz-Alonso, G. 2011. Review: The Yucatan Peninsula karst aquifer, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 19(3): 507–524.
- Binford, M. W. 1986. Ecological correlates of net accumulation rates of Cladocera remains in lake sediments. En *Paleolimnology IV* Löffler (ed.). *Springer Netherlands*. 123-128.
- Cervantes Martínez, A. 2005. *Análisis limnológico de dos sistemas cársticos (Cenotes) de la Península de Yucatán, México con énfasis en la variación espacial y temporal del zooplankton*. Tesis de Doctorado. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. 163 pp.
- Chaparro-Herrera, D. J., Fernández, R., Nandini, S., & Sarma, S. S. S. 2010. Food concentration and temperature effects on the demography of *Latonopsis* cf. *australis* Sars (Cladocera: Sididae). *Hydrobiologia*, 643(1), 55-62.
- Ciros-Pérez, J. & Elías-Gutiérrez, M. 1997a. *Macrothrix smirnovi*, a new species (Crustacea: Anomopoda: Macrothricidae) from Mexico, a member of the *M. triserialis*-group. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 110, 115–127.
- Ciros-Pérez, J. & Elías-Gutiérrez, M. 1997b. *Spinalona anophthalma* n. gen. n. sp. (Anomopoda, Chydoridae) a blind epigeal cladoceran from the Neovolcanic Province of Mexico. *Hydrobiologia*, 353, 19–28.
- Cohuo S., 2010. Caracterización y Distribución de Ostrácodos dulceacuícolas de la Península de Yucatán. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Chetumal. 146 pp.
- Cohuo, S., Macario-González, L., Pérez, L., Swalb, A. 2016. Overview of Neotropical-Caribbean freshwater ostracode fauna (Crustacea, Ostracoda): identifying areas of endemism and assessing biogeographical affinities. *Hydrobiologia*. ONLINE: DOI 10.1007/s10750-016-2747-1.
- Cohuo-Durán, S., Elías-Gutiérrez M. & Karanovic I. 2012. On three new *Cypretta* Vávra, 1985 species (Crustacea: Ostracoda) from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Zootaxa*. 3636(4): 501-524.
- Conover-Blancas, C., 2016, El presidio de San Felipe Bacalar. La llave de la costa oriental de la península de Yucatán durante el siglo XVIII/The Presidio of San Felipe Bacalar: The Key to the Eastern Coast of the Yucatan Peninsula During the Eighteenth Century. *Vegueta: Anuario de la Facultad de Geografía e Historia*, 16: 51-65.

- Correa-Metrio, A., Dechnik, Y., Lozano-García, S., & Caballero, M. 2014. Detrended correspondence analysis: A useful tool to quantify ecological changes from fossil data sets. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(1): 135-143.
- Covich, A. P., Thorp, J. H., & Rogers, D. C. 2010. Introduction to the Subphylum Crustacea. En Thorp & Covich. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Thorp, J. H. & Covich, A. P.(eds.) *Academic press*. 695–723 pp.
- Curry, B. B. 1999. An environmental tolerance index for ostracodes as indicators of physical and chemical factors in aquatic habitats. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 148(1), 51-63.
- Curtis, J, Hodell D and Brenner M. 1996 Climate variability on the Yucatan Peninsula (Mexico) during the past 3500 Years, and implications for Maya cultural evolution. *Quaternary Research* 46: 37-47.
- Davenport, J. (1990). Observations on swimming, posture and buoyancy in the giant oceanic ostracods, *Gigantocypris mulleri* and *Macrocypridina castanea*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 70(1), 43-55.
- De Bernardi, R., Guissani, G., & Manca, M. 1987. Cladocera: predators and prey. En Cladocera, Forró & Frey (eds.) *Springer Netherlands*. 225-243.
- De Eyto, E., & Irvine, K. 2001. The response of three chydorid species to temperature, pH and food. *Hydrobiologia*, 459(1): 165-172.
- Dole-Olivier, M.-J., Galassi, D. M. P., Marmonier, P., & Creuzé Des Châtelliers, M. 2000. The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater Biology*, 44(1): 63–91.
- Dumont, H. J., & Silva-Briano, M. 2000. *Karualona* n. gen. (Anomopoda: Chydoridae), with a description of two new species, and a key to all known species. *Hydrobiologia*, 435(1-3), 61-82.
- Echeverría-Galindo, P. 2016. Ostrácodos (Crustacea:Ostracoda) en lagos kársticos (Montebello, Selva Lacandona y El Petén) en el norte de los Neotrópicos en relación a un gradiente altitudinal: diversidad distribución y ecología. Tesis de Licenciatura. Facultad de ciencias químicas y farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Elías-Gutiérrez, M. & Suárez-Morales, E. 1999. *Alona pectinata* (Crustacea: Anomopoda; Chydoridae), a new freshwater cladoceran from Southeast Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 47: 105–111.
- Elías-Gutiérrez, M., Ciro-Pérez, J., Suárez-Morales, E., & Silva-Briano, M. 1999. The freshwater Cladocera (orders Ctenopoda and Anomopoda) of Mexico, with comments on selected taxa. *Crustaceana*, 72(2): 171-186.
- Elías-Gutiérrez, M., Kotov, A. A., & Garfias-Espejo, T. 2006. Cladocera (Crustacea: Ctenopoda, Anomopoda) from southern Mexico, Belize and northern Guatemala, with some biogeographical notes. *Zootaxa*, 1119: 1-27.
- Elías-Gutiérrez, M., Smirnov, N. N., Suárez-Morales, E., & Dimas-Flores, N. 2001. New and little known cladocerans (Crustacea: Anomopoda) from southeastern Mexico. *Hydrobiologia*, 442(1-3): 41-54.

- Elías-Gutiérrez, M., Suárez-Morales, E., Gutiérrez-Aguirre, M. A., Silva-Briano, M., Granados, J., & Garfias, T. 2008. *Cladocera y Copepoda de las aguas continentales de México*. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. 322 pp.
- Ferguson, E. G., Hutchinson, G. E., & Goulden, C. E. (1964). *Cypria petenensis*, a new name for the ostracod *Cypria pelagica* Brehm 1932. *Postilla*, Peabody Museum of Natural History 80: 1-4.
- Flössner D., 1962. Zur Cladoceren fauna des Stechlinsee-Gebietes I. U"ber Morphologie und Variabilität einiger Formen und über Funde seltener Arten. *Limnologica (Berlin)*, 1: 217–229.
- Flössner, D., & Kraus, K. 1977. On the variability and taxonomy of *Pleuroxus denticulatus* Birge (Cladocera: Chydoridae). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 34(4): 463-476.
- Foley, S. F., D. Gronenborn, M. O. Andreae, J. W. Kadereit, J. Esper, D. Scholz, U. Pöschl, D. E. Jacob, B. R. Schöne, R. Schreg, A. Vött, D. Jordan, J. Lelieveld, C. G. Weller, K. W. Alt, S. Gaudzinski-Windheuser, K.-C. Bruhn, H. Tost, F. Sirocko & P. J. Crutzen, 2013, The Palaeoanthropocene – The beginnings of anthropogenic environmental change. *Anthropocene* 3: 83-88.
- Ford, D., & Williams, P. 2007. Introduction to Karst. En *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd, 1-8 pp.
- Forró, L., Korovchinsky, N. M., Kotov, A. A., & Petrusek, A. 2008. Global diversity of cladocerans (Cladocera; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1): 177–184.
- Frey, D. G. 1982. Relocation of *Chydorus barroisi* and related species (Cladocera, Chydoridae) to a new genus and description of two new species. *Hydrobiologia*, 86(3), 231-269.
- Fuentes-Reines, J. M., & Elmoor-Loureiro, L. M. 2015. Annotated checklist and new records of Cladocera from the Ciénaga El Convento, Atlántico-Colombia. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 10(3): 189-202.
- Fuentez-Reines, J. M., Zoppi de Roa, E., Gámez, D., & López, C. 2012. Conocimiento de la fauna Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 41 (1): 121-164.
- Furtos, N. 1936. On the Ostracoda from the cenotes of Yucatán and vicinity. En: *The cenotes of Yucatan, a zoological and hydrographic survey*. Pearse AS, Creaser EP, Hall FG, et al. (eds). Washington: Carnegie Intitution of Washington, 89-115.
- Furtos, N. 1938. A new specie of *Cypridopsis* from Yucatán. *Fauna of the caves of Yucatan*. 155-157.
- Gaona-Vizcayno, S., Gordillo-de Anda, T., & Villasuso-Pino, M. 1980. Cenotes, Karst Caracteristico: Mecanismo de formación. *Instituto de Geología Revista, Universidad Nacional Autónoma de México*, 4, 32–36.
- Garfias-Espejo, T. & Elías-Gutiérrez, M. 2003. Taxonomy and distribution of Macrothricidae (Crustacea: Anomopoda) in southeastern Mexico, northern Guatemala and Belize. *Anales del Instituto de Biología serie Zoología*, 74(002).
- Gischler, E., Golubic, S., Gibson, M. A., Oschmann, W., & Hudson, J. H., 2011, Microbial mats and microbialites in the freshwater Laguna Bacalar, Yucatan Peninsula, Mexico. En *Advances in Stromatolite Geobiology*. Springer Berlin Heidelberg. 187-205 pp.

- Gómez Noguera, S. E., & Hendrickx, M. E. 1997. Distribution and abundance of meiofauna in a subtropical coastal lagoon in the south-eastern Gulf of California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 34(7): 582-587.
- Gray, J.S. & Elliot, M. 2009. *Ecology of Marine Sediments*. 2a ed. Oxford University Press. 225 pp.
- Harding, J. P., & Petkovski, T. 1962. *Latonopsis australis* Sars (Cladocera) in Jugoslavia with notes on its synonymy and distribution. *Crustaceana*, 6(1): 1-4.
- Higuti, J., Lansac-Tôha, F. A., Velho, L. F. M., Pinto, R. L., Vieira, L. C. G., & Martens, K. 2009. Composition and distribution of Darwinulidae (Crustacea, Ostracoda) in the alluvial valley of the upper Paraná River, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 69(2): 253-262.
- Hodell, DA, Brenner M, Curtis J. H. 2005. Climate change on the Yucatan Peninsula during the Little Ice Age. *Quaternary Research* 63: 109-121.
- Hudec, I. e Illyova, M. 1998. *Pleuroxus denticulatus* (Crustacea: Anomopoda: Chydoridae): a new invader in the Danube Basin, *Hydrobiologia*, 368: 65-73.
- Illiffe, T. M. 2000. Anchialine cave ecology En Wilkens, H., D. Culver & W. F. Humphreys (eds.) *Subterranean ecosystems. Ecosystems of the world* 30. (pp. 59-76) Elsevier Science. 59-76 pp.
- INEGI. 2012. *Perspectiva estadística Quintana Roo*. 87 pp.
- INEGI. 2015. *Anuario estadístico y geográfico de Campeche*. 382 pp.
- INEGI. 2016. *Conociendo Quintana Roo*. Sexta edición. 34 pp.
- Jeppesen, E., Leavitt, P., De Meester, L., & Jensen, J. P. 2001. Functional ecology and palaeolimnology: using cladoceran remains to reconstruct anthropogenic impact. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(4): 191–198.
- Juday, C. 1915. Limnological studies on some lakes in Central America. *Trans. Wisconsin Academy Science Arts and Letters*, 18: 214-250.
- Karanovic, I. 2012. *Recent freshwater ostracods of the world: Crustacea, Ostracoda, Podocopida*. Springer Science & Business Media. 619 pp.
- Keyser, D. 1976. Zur Kenntnis der brackigen mangrovebewachsenen Weichböden Südwest-Floridas unter besonderer Berücksichtigung ihrer Ostracodenfauna. PhD thesis. Universität Hamburg, Hamburg.
- Keyser, D. 1978. Ecology and zoogeography of recent brackish-water Ostracoda (Crustacea) from south-west Florida. *Aspects of Ecology and Zoogeography of Recent and Fossil Ostracoda*, 207-222.
- Koleff, P., Gaston, K. J., & Lennon, J. J. 2003. Measuring beta diversity for presence–absence data. *Journal of Animal Ecology*, 72(3), 367-382.
- Korovchinsky, N. M. 1992. *Sididae & Holopediidae (Crustacea: Daphniiformes)*. SPB Academic Publishing.

- Kotov, A. A. 2006. Adaptations of Anomopoda crustaceans (Cladocera) to the benthic mode of life. *Entomological review*, 86(2): S210-S225.
- Kotov, A. A., & Dumont, H. J. 2000. Analysis of the *Ilyocryptus spinifer*-species group (Anomopoda, Branchiopoda), with description of a new species. *Hydrobiologia*, 428(1): 85-113.
- Kotov, A. A., & Williams, J. L. 2000. *Ilyocryptus spinifer* Herrick 1882 (Anomopoda, Branchiopoda): a redescription based on North American material and designation of a neotype from Minnesota. *Hydrobiologia*, 428(1): 67-84.
- Kotov, A. A., Garfias-Espejo, T., & Elías-Gutiérrez, M. 2004. Separation of two Neotropical species: *Macrothrix superaculeata* (Smirnov, 1982) versus *M. elegans* Sars, 1901 (Macrothricidae, Anomopoda, Cladocera). *Hydrobiologia*, 517(1-3): 61-88.
- Kotov, A., Forró, L., Korovchinsky, N.M. & A. Petrusek. 2013. Jan 25, World checklist of freshwater Cladocera species. World Wide Web electronic publication. Available online at <http://fada.biodiversity.be/group/show/17> [07/11/15 20:20 hrs]
- Külköylüoğlu, O., 2004, On the usage of ostracods (Crustacea) as bioindicator species in different aquatic habitats in the Bolu region, Turkey. *Ecological Indicators* 4(2): 139-147.
- Külköylüoğlu, O., M. Dügel and M. Kılıç, 2007, Ecological requirements of Ostracoda (Crustacea) in a heavily polluted shallow lake, Lake Yeniçağa (Bolu, Turkey, *Hydrobiologia* 585(1): 119-133.
- Lagomasino, D., Price, R. M., Herrera-Silveira, J., Miralles-Wilhelm, F., Merediz-Alonso, G., & Gomez-Hernandez, Y., 2015, Connecting Groundwater and Surface Water Sources in Groundwater Dependent Coastal Wetlands and Estuaries: Sian Ka'an Biosphere Reserve, Quintana Roo, Mexico. *Estuaries and Coasts*, 38(5): 1744-1763.
- Legendre & Birks, H. J. B. 2012. From Classical to Canonical ordination. En *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, Birks, H. J. B., A. F. Lotter, S. Juggins, & J. P. Smol (Eds.), Springer Netherlands. 201-248 pp.
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Incention University Press. 179 pp.
- Martens, K. & Sukonthip, S. 2011. A subjective checklist of the Recent, free-living, non-marine Ostracoda (Crustacea). *Zootaxa*. 2855:1-79.
- Martens, K., Schön, I., Meisch, C., & Horne, D. J. 2008. Global diversity of ostracods (Ostracoda, Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia*. 595: 185-193.
- Matsuda, J. T., Lansac-Tôha, F. A., Martens, K., Velho, L. F. M., Mormul, R. P., & Higuti, J. 2015. Association of body size and behavior of freshwater ostracods (Crustacea, Ostracoda) with aquatic macrophytes. *Aquatic Ecology*, 49(3): 321-331.
- Mazzini, I., Goiran, J. P., & Carbonel, P. 2015. Ostracodological studies in archaeological settings: a review. *Journal of Archaeological Science*, 54: 325-328.
- Meerhoff, M., Clemente, J. M., De Mello, F. T., Iglesias, C., Pedersen, A. R. and Jeppesen, E. 2007, Can warm climate-related structure of littoral predator assemblies weaken the clear water state in shallow lakes?. *Global Change Biology*, 13: 1888–1897.

- Meisch C. 2000. Freshwater Ostracoda of western and Central Europe. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin.
- Mischke, S., Ginat, H., Al-Saqarat, B., & Almogi-Labin, A. 2012. Ostracods from water bodies in hyperarid Israel and Jordan as habitat and water chemistry indicators. *Ecological Indicators*, 14(1): 87-99.
- Moreno, C. E. 2001. Manual de métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis Sociedad Entomológica Aragonesa. Zaragoza, 84
- Muñoz-Mejía, G., Zavala-Olivares, G., & Martínez-Jeronimo, F. 2007. Comparative analysis between native and reference cladocerans to assess the toxic effects of products used by the oil industry in Mexico. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 42(10): 1453-1460.
- Nogueira, A. A. E., & Ramos, M. I. F. 2016. The genus *Perissocytheridea* Stephenson, 1938 (Crustacea: Ostracoda) and evidence of brackish water facies along the Oligo-Miocene, Pirabas Formation, eastern Amazonia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 65: 101-121.
- Oksanen, J. 2016. Vegan: ecological diversity. Consultado en <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vignettes/diversity-vegan.pdf>.
- Oksanen, J., Guillaume Blanchet F., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlenn D., Minchin P. R., O'Hara R. B., Simpson G. L., Solymos P., Stevens M. H. H., Szoecs E. & Wagner E. 2016. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-1. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Olesen, J., Richter, S. and Scholtz, G. (2003), On the ontogeny of *Leptodora kindtii* (Crustacea, Branchiopoda, Cladocera), with notes on the phylogeny of the Cladocera. *J. Morphol.*, 256: 235–259.
- Olivera-Gómez, A. Y., 2002, Reconstrucción paleoecológica del sur de Quintana Roo, México, durante el Holoceno. Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia: 5-15
- Payne, R. J. 2013. Seven reasons why protists make useful bioindicators. *Acta Protozoologica*, 52(3): 105-113.
- Pearse, A.S., Creaser, E. P. & Hall, F.G. (eds.). 1936. The Cenotes of Yucatan. A Zoological and Hydrographic Survey. Publications of the Carnegie Institution of Washington 457 pp.
- Pérez, L. 2010 Non marine ostracodes from the Yucatan Peninsula as late Quaternary paleoenvironmental indicators. Tesis inédita de Doctorado en rec. nat. Institut für Umweltgeologie, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland.
- Pérez, L., Bugja, R., Lorenschat, J., Brenner, M., Curtis, J., Hoelzmann, P., Islebe, G., Scharf, B., Schwalb, A. 2011. Aquatic ecosystems of the Yucatán Peninsula (Mexico), Belize, and Guatemala. *Hydrobiologia*, 661(1): 407–433.
- Pérez, L., Lorenschat, J., Brenner, M., Scharf, B., & Schwalb, A. 2010. Extant freshwater ostracodes (Crustacea: Ostracoda) from Lago Peten Itza, Guatemala. *Revista de Biología Tropical*, 58(3): 871-895.

- Pérez, L., Lorenschat, J., Massafiero, J., Pailles, C., Sylvestre, F., Hollwedel, W., Gerd-Oltmann, G., Brenner, M., Gerald, I., Lozano, M. S., Burkhard, S., & Schwalb, A. 2013. Bioindicators of climate and trophic state in lowland and highland aquatic ecosystems of the Northern Neotropics. *Revista de Biología Tropical*, 61(2): 603–644.
- Perry, E., Velazquez-Oliman, G., & Marin, L. (2002). The hydrogeochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *International Geology Review*, 44(3): 191-221.
- Perry, E., Paytan, A., Pedersen, B., & Velazquez-Oliman, G. 2009. Groundwater geochemistry of the Yucatan Peninsula, Mexico: Constraints on stratigraphy and hydrogeology. *Journal of Hydrology*, 367(1-2): 27–40.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rio de la Loza L. & Craveri C. 1858 Opúsculo sobre los pozos artesianos y las aguas naturales de más uso en la ciudad de México, con algunas noticias sobre el corte del Valle y una lista de plantas que vegetan en las inmediaciones del Desierto Vierjo. BoZ Soc. Mexicana Geog. Estad., 1ra Epoca VI (suplement): 9-28, lam.1.
- Roca, J. & D. L. Danielopol, 1991, Exploration of interstitial habitats by the phytophilous Ostracod *Cypridopsis vidua* OF Müller: experimental evidence. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 27(3): 243-252.
- Roca, J. R., Baltanás, A., & Uiblein, F. 1993. Adaptive responses in *Cypridopsis vidua* (Crustacea: Ostracoda) to food and shelter offered by a macrophyte (*Chara fragilis*). *Hydrobiologia*, 262(2): 127-131.
- Rossa, D. C., Lansac-Tôha, F. A., Bonecker, C. C., & Velho, L. F. M. 2001. Abundance of cladocerans in the littoral regions of two environments of the upper Paraná river floodplain, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, 61(1): 45-53.
- Rosseti G. & Martens K. 1998. Taxonomix revisión of the recent and holocene representatives of the family Darwinulidae (Crustacea, Ostracoda), with a description of three new genera, *Bulletin de l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique Biologie*, 68: 55-110.
- Ruiz, F., Abad, M., Bodergat, A. M., Carbonel, P., Rodríguez-Lázaro, J., & Yasuhara, M. 2005. Marine and brackish-water ostracods as sentinels of anthropogenic impacts. *Earth-Science Reviews*, 72(1): 89-111.
- Ruiz, F., M. Abad, A. Bodergat, P. Carbonel, J. Rodríguez-Lázaro, M. González-Regalado, A. Toscano, E. García & J. Prenda, 2013. Freshwater ostracods as environmental tracers. *International Journal of Environmental Science and Technology* 10(5): 1115-1128.
- Saussure, H. 1858. Memoire sur divers Crustacés nouveaux des Antilles et du Mexique, *Memoires de la Societe de Physique et D'His-toire Naturelle de Geneve*, 14(2): 486-490.
- Schmitter-Soto, J. J., Comín, F. A., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías-Gutiérrez, M., Díaz-Arce, V., Marín, L. E. & Steinich, B. 2002. Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467: 215–228.

- Sinev, A., Kotov, A., & Van Damme, K. 2004. Morphology of a Neotropical cladoceran *Alona dentifera* (Sars, 1901), and its position within the Chydoridae Stebbing, 1902 (Branchiopoda: Anomopoda). *Arthropoda Selecta*, 13(3): 99-107.
- Sinev, A. Y., Van Damme, K., & Kotov, A. A. 2005. Redescription of tropical-temperate cladocerans *Alona diaphana* King, 1853 and *Alona davidi* Richard, 1895 and their translocation to *Leberis* Smirnov, 1989 (Branchiopoda: Anomopoda: Chydoridae). *Arthropoda Selecta*, 14(3): 183-205.
- Smith, A. J. 1993. Lacustrine ostracodes as hydrochemical indicators in lakes of the north-central United States. *Journal of Paleolimnology*, 8(2): 121-134.
- Sousa, F. D. R., Elmoor-Loureiro, L. M., & Souza, M. B. G. 2009. A contribution to the fauna of Cladocera (Branchiopoda) from Ceará state, Brazil. *Nauplius*, 17(2): 101-105.
- Timm, N. H. 2002. *Applied Multivariate Analysis*. Springer Texts in statistics. 693 pp.
- Van Damme, K., & Dumont, H. J. 2010. Cladocera of the Lençóis Maranhenses (NE-Brazil): faunal composition and a reappraisal of Sars' Method. *Brazilian Journal of Biology*, 70(3), 755-779.
- Van Damme, K., Elías-Gutiérrez, M., & Dumont, H. J. 2011. Three rare European "Alona" taxa (Branchiopoda: Cladocera: Chydoridae), with notes on distribution and taxonomy. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* 471(1), 45-63.
- Van Damme, K., Sinev, A. Y., & Dumont, H. J. 2011. Separation of *Anthalona* gen. n. from *Alona* Baird, 1843 (Branchiopoda: Cladocera: Anomopoda): morphology and evolution of scraping stenothermic alonines. *Zootaxa*, 2875, 1-64.
- Van Leeuwen, E., Lacert G., Van Nes, H.E., Hemerik L. & Scheffer M., 2007 Reduced top-down control of phytoplankton in warmer climates can be explained by continuous fish reproduction. *Ecological Modelling*. 206(1-2): 205-212
- Van de Velde, I., Dumont, H. J. & Grootaert, P. 1978. Report on a collection of Cladocera from Mexico and Guatemala. *Archive Hydrobiology*, 83, 391-404.
- Vázquez-Molina, Y. Alexander Correa-Metrio, A., Zawisza, E., Franco-Gaviria, J. F., Pérez, L., Romero F., Prado B., Charqueño-Célis F., Esperón-Rodríguez M. 2016. Decoupled lake history and regional moisture availability in the middle elevations of tropical Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33(3). 355-364.
- Wilson, C. B. 1936. *Copepods from the Cenotes and Caves of the Yucatan Peninsula, with Notes on Cladocerans*. En: *The cenotes of Yucatan, a zoological and hydrographic survey*. Pearse AS, Creaser EP, Hall FG, et al. (eds). Washington: Carnegie Institution of Washington. 77-88.
- Witschey, W. R, 1988. Recent investigations at the Maya inland port city of Muyil, Chunyaxché, Quintana Roo, Mexico. *Mexicon*, 111-117.
- Yalim, F. B., & Ciplak, B. 2010. Redescription of *Ephemeroporus barroisi* (Richard, 1894) (Cladocera, Chydoridae) on the Basis of Material from Mediterranean Anatolia (Turkey). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(4): 551-558.
- Zolitschka, B., K.-E. Behre & J. Schneider, 2003. Human and climatic impact on the environment as derived from colluvial, fluvial and lacustrine archives—examples from the Bronze Age to the Migration period, Germany. *Quaternary Science Reviews* 22(1): 81-100.



# ANEXO

Características taxonómicas y ecológicas de las especies de cladóceros y ostrácodos del sureste de Quintana Roo.

Clase Branchiopoda Latreille, 1817  
Subclase Phyllopoda Preuss, 1951  
Orden Diplostraca Gerstaecker, 1866  
Suborden Cladocera Latreille, 1829  
Infraorden Ctenopoda Sars, 1865  
Familia Sididae Baird, 1850  
Género *Diaphanosoma* Fischer, 1850  
*Diaphanosoma brevireme* Sars, 1901  
(Fig. 7-a)

**Diagnosis:** Cabeza pequeña redondeada. Rama bisegmentada de la antena con 8 setas. Margen ventral de las valvas con un pliegue interno sumamente desarrollado y ancho. Margen posterior con denticulos que forman de 6 a 8 grupos de 5 a 11 miembros cada uno que desaparece de tamaño ventralmente (Basado en Korovchinsky, 1992; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 5 orgs. (MUJ, 30/08/2013); 67 orgs. (CAB, 25/08/2013). Total 72 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Pelágica. Se encuentra en elevadas abundancias en la zona litoral en áreas con abundante vegetación acuática (Souza, *et al.*, 2009).

Género *Latonopsis* Sars, 1888  
*Latonopsis australis* Sars, 1888 grupo

**Diagnosis:** Rama bisegmentada de la antena con no más de 12 setas en la parte dorsal. Margen posterior de las valvas con setas muy largas plumosas con base ancha. Postabdomen relativamente pequeño con 7-9 espinas anales solitarias (Basado en Harding & Petkovski, 1962; Korovichinsky, 1992; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 21 orgs. (ENC, 19/08/2013). Total 21 organismos.

**Distribución:** Afrotropical, Australasiatica, Neotropical, Neártica, Oriental, Paleártica.

**Medio Ambiente:** Pelágica. Se ha observado en condiciones de laboratorio que prefiere condiciones oligotróficas a mesotróficas (Chaparro-Herrera *et al.*, 2010).

Infraorden Anomopoda Stebbing, 1902  
Familia Chydoridae Stebbing, 1902  
Subfamilia Aloninae Dybowski & Grochowski, 1894  
Género *Alona* Baird, 1843  
*Alona cf. dentifera* (Sars 1901)

**Diagnosis:** Valvas con 2-3 denticulos en el ángulo posteroventral. Base de la garra postabdominal separada del margen distal por una incisión; postanal con denticulos; garra

postabdominal larga y delgada con una espina basal muy larga cerca de 2/3 de la longitud de la garra (Basado en Sinev *et al.*, 2004 y Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 1 org. (CAB, 25/08/2013). Total 1 organismo.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Béntica

*Alona karelica* Stenroos, 1897  
(Fig. 7-d)

**Diagnosis:** Escudo cefálico con tres poros unidos interconectados del mismo tamaño, poros pequeños a lado de los tres poros interconectados. Caparazón sin ninguna ornamentación. Labro casi cuadrado con ligeras hendiduras. Margen distal del postabdomen ligeramente truncado; margen con dientes que disminuyen en tamaño. Garra postabdominal con espina basal larga y delgada (Basado en Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008; Van Damme *et al.*, 2011).

**Material examinado:** 5 orgs. (EZ, 18/08/2013). Total 5 organismos.

**Distribución:** Cosmopolita.

**Medio Ambiente:** Béntica. En la Región palearctica se ha reportado que es una especie euritámica que se encuentra entre la vegetación acuática, y puede tolerar pH ácido (pH>5) (Van Damme *et al.*, 2011). Sin embargo, aún hacen falta más estudios en la región neotropical.

Género *Antalona* Van Damme, Siev & Dumont, 2011  
*Antalona pectinata* (Elías-Gutiérrez & Suarez-Morales, 1999)  
(Fig. 7-i)

**Diagnosis:** Cuerpo elongado. Caparazón sin ninguna ornamentación. Escudo cefálico con dos poros dorsales interconectados y dos poros laterales formando una especie de semicírculo fácilmente visible en vista lateral. Antena 2 con una larga espina terminal. Postabdomen pequeño pero con numerosas espinas bien desarrolladas. Espina basal del postabdomen poco más larga que la garra. Lóbulo distal interno del primer apéndice torácico con dos setas fuertemente pectinadas (Basado en Van Damme *et al.*, 2011 y Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 3 orgs. (CHI, 11/08/2013); 8 orgs. (EZ, 18/08/2013); 15 orgs. (ENC, 19/08/2013); 58 orgs. (CAB, 25/08/2013); 3 orgs. (SJM, 25/08/2013). Total 87 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Béntica. Prefiere sitios con detritos, nado lento (como *A. verrucosa* Van Damme & Dumont, 2010). Tolera altos niveles de conductividad (<310  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (en este estudio).

Género *Karualona* Dumont & Silva-Briano, 2000  
*Karualona penuelasi* Dumont & Silva-Briano, 2000

**Diagnosis:** Valvas con estrías en la región anterior vertical; esquina posterior ventral con 3-4 espinas robustas. Escudo cefálico con dos poros principales conectados y un pseudoporo distal. Lóbulo distal interno del primer apéndice torácico con una seta interna y una seta externa de la misma longitud. Garra postabdominal con una espina basal de pequeña a muy pequeña Basado en Dumont & Silva-Briano, 2000 y Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008.

**Material examinado:** 2 orgs. (CHI, 11/08/2013); 5 orgs. (CBEN, 24/08/2013). Total 7 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Rápido nadador (Van Damme & Dumont, 2010). Presencia de vegetación, Tiene un intervalo de tolerancia alto de conductividad (26-377 mS/L) y pH <8 (Fuentes-Reines & Elmoor-Loureiro, 2015).

Género *Leberis* Smimov, 1989  
*Leberis cf. davidi* (Richard, 1895)  
(Fig. 7-c)

**Diagnosis:** Escudo cefálico con tres poros interconectados; valvas con setas en el margen ventral. Rama trisegmentada de la antena con una espina que sale del segundo segmento. Postabdomen con el margen distal redondeado, estrechándose distalmente; margen postanal con grupos de dentículos; cara del postabdomen con grupos de pequeñas setas. Garra con espina basal presente. (Basado en Sinev *et al.*, 2005 y Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 7 orgs. (CHI, 11/08/2013). Total 7 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Común en el litoral. Prefiere sitios con detritos, y tiene un nado lento (Van Damme & Dumont, 2010).

Subfamilia Chydorinae Dybowski & Grochowski, 1894  
Familia Chydoridae Stebbing, 1902  
Género *Chydorus* Leach, 1816  
*Chydorus eurynotus* Sars, 1901  
(Fig. 7-b)

**Diagnosis:** Cuerpo globular. Escudo cefálico con dos poros separados. Ángulo posteroventral de las valvas sin un denticulo presente. Labro pequeño y redondo. Postabdomen con el margen postanal con setas marginales, y dientes delgados en el margen preanal los márgenes dorsal y ventral no paralelos; más largo que ancho, con el ángulo dorsodistal de redondo a cuadrado; denticulos delgados en el borde del postabdomen. Garra postabdominal con dos setas basales y espículas en la parte proximal (Basado en Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008 y Van Damme & Dumont, 2010).

**Material examinado:** 10 orgs. (SNH, 11/09/2013). Total 10 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Béntico. Prefiere fondos con algas filamentosas y no es un nadador tan rápido (Van Damme & Dumont, 2010).

Género *Ephemeroporus* Frey, 1982  
*Ephemeroporus barroisi* (Richard, 1894)  
(Fig. 7-k)

**Diagnosis:** Cuerpo globular, carente de poros cefálicos en adultos. Valva con uno a tres denticulos en el margen posterior. Labro con cuatro dientes. Postabdomen corto, aproximadamente dos veces más largo que ancho, margen preanal pronunciado, margen postanal con 8-10 denticulos delgados que aumentan en tamaño distalmente. Garra con dos espinas delgadas, de las cuales la proximal es más corta que la distal (Basado en Frey, 1982; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008 y Yalim & Ciplak, 2010).

**Material examinado:** 3 orgs. (SNH, 11/09/2013). Total 3 organismos

**Distribución:** Cosmopolita.

**Medio Ambiente:** Común en el litoral. Organismos ramoneadores, de un nado rápido (Van Damme & Dumont, 2010).

*Ephemeroporus hybridus* (Daday, 1905)  
(Fig. 7-h)

**Diagnosis:** Cuerpo globular, carente de poro cefálicos en adultos. Valva con sólo un denticulo en el margen posterior. Labro con sólo un diente. Postabdomen corto, aproximadamente dos veces más largo que ancho, margen preanal pronunciado con uno, margen postanal con 6-7 denticulos delgados que decrecen en tamaño proximalmente. Sección preanal con 2 o 3 hendiduras semicirculares cerca de la seta abdominal. Garra con una espina delgada (Basado en Frey, 1982 y Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 32 orgs.: 6 orgs. (MUY, 30/08/2013); 2 orgs. (SNH, 11/09/2013); 4 orgs. (CBEN, 24/08/2013); 20 orgs. (CAB, 25/08/2013). Total 32 organismos

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Común en el Litoral. Organismos ramoneadores, de un nado rápido (Van Damme & Dumont, 2010).

Género *Picripleuroxus* Frey, 1993  
*Picripleuroxus denticulatus* (Birge, 1879)  
(Fig. 7-j)

**Diagnosis:** Altura del margen posterior de las valvas cercanas a una tercera parte de su máxima altura o ligeramente más; con denticulos apuntando hacia la parte ventral del animal. Antena 1 larga y delgada con una seta en el margen. Postabdomen alargado y ligeramente curvado, con espinas en el margen dorsal distal, sin embargo, se ha observado que el postabdomen es muy variable aún en condiciones de cultivo (Basado en Flössner & Kraus, 1977 y Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 3 orgs. (SNH, 11/09/2013). Total 3 organismos.

**Distribución:** Afrotropical, Nearctica, Palearctica, Neotropical.

**Medio Ambiente:** Común en la zona litoral, principalmente relacionado con la vegetación acuática (Hudec & Illyova, 1998).

Familia Daphniidae Straus, 1820  
Género *Simocephalus* Schoedler, 1858  
*Simocephalus* sp.

**Diagnosis:** Organismos grandes con cabeza delimitada por una depresión en el margen dorsal. Rostro puntiagudo y relativamente largo. Margen ventral de la cabeza tiene una depresión cerca del rostro. Fornices grandes y anchos. Primera antena con 9 astetascos en la parte distal. Antena 2 corta en comparación con el cuerpo. Valvas anchas con máxima altura localizada en la parte posterior (Basado en Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 1 org. (CBEN, 24/08/2013). Total 1 organismo.

**Medio Ambiente:** Pelágica. Se encuentra en la zona litoral entre la vegetación acuática.

Género *Ceriodaphnia* Dana, 1853  
*Ceriodaphnia* cf. *dubia* Richard, 1894  
(Fig. 7-l)

**Diagnosis:** Cabeza sin fornices proyectados en procesos espinosos. Frente por arriba del margen ventral del caparazón. Antena 2 con setas terminales que alcanzan la parte posterior del margen del caparazón. Postabdomen moderadamente más largo que ancho, con 7 denticulos anales en números que disminuye en tamaño proximalmente (Basado en Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 4 orgs. (SJM, 25/08/2013). Total 4 organismos.

**Distribución:** Cosmopolita

**Medio Ambiente:** Pelágica.

Familia Ilyocryptidae Smirnov, 1971  
Género *Ilyocryptus* Sars, 1862  
*Ilyocryptus spinifer* Herrick, 1882  
(Fig. 7-g)

**Diagnosis:** Valvas con líneas concéntricas en adultos maduros, consecuencia de la muda incompleta. Cuerpo no ensanchado, ángulo posterodorsal bien desarrollado. Postabdomen con 6-11 denticulos que incrementan en longitud del ano a la seta postabdominal. Garra del postabdomen ligeramente curvada en la porción distal; con una serie de setas. Antena 2 con hileras circulares de espinas bien desarrolladas en todos los segmentos; longitud de la espina del segundo segmento más corta o del mismo tamaño que el tercer segmento. Primer apéndice torácico sin setas cerca de los ganchos eyectores (Basado en Kotov & Dumont, 2000; Kotov & Williams, 2000 y Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 13 orgs. (MUY, 30/08/2013); 13 orgs. (CAB, 25/08/2013). Total 26 organismos.

**Distribución:** Cosmopolita.

**Medio Ambiente:** Béntica. Se entierra entre los sedimentos (Kotov, 2006), pero es posible encontrarla entre la vegetación acuática.

Familia Macrothricidae Norman & Brady, 1867  
Género *Macrothrix* Baird, 1843  
*Macrothrix elegans* Sars, 1901  
(Fig. 7-f)

**Diagnosis:** Antena 1 en forma tubular, ligeramente curvada con hileras de espinas en la región anterior; nueve astestascos cortos, dos de ellos más largos que el resto. Antena dos con dos pequeñas setas basales de tamaño subigual; segundo segmento de la antena cuatrisegmentada con una espina verdadera. Pata 1 con dos ganchos eyectores de mismo tamaño. Postabdomen ovoide con aserraciones con el extremo distal redondeado (Basado en Kotov *et al.*, 2004).

**Material examinado:** 31 orgs. (MUY, 30/08/2013); 2 orgs. (CHI, 11/08/2013); 7 orgs. (SNH, 11/09/2013); 7 orgs. (EZ, 18/08/2013); 10 orgs. (CBEN, 24/08/2013); 19 orgs. (MH, 26/08/2013); 115 orgs. (ENC, 19/08/2013); 25 orgs. (CAB, 25/08/2013); 2 orgs. (SJM, 25/08/2013). Total 218 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Béntica. Común entre la vegetación acuática sumergida y flotante. Relacionada con la presencia de carbonatos  $\text{HCO}_3^-$  (Pérez *et al.*, 2013), así como indicadora de ambientes estresantes ya que tolera la presencia de metales pesados (Muñoz-Mejía *et al.*, 2007).

*Macrothrix spinosa* King, 1853  
(Fig. 7-e)

**Diagnosis:** Cuerpo subovoide en vista lateral; margen curvado de la punta del rostro hasta el ángulo posterior dorsal con aserraciones a lo largo del margen dorsal; valvas cubiertas por escamas, lo que da a toda la superficie una apariencia escamosa. Antena 1 distalmente dilatada, con 6-7 pequeñas hileras de espínulas transversales. Antena 2 con una espínula en la unión del tercer y cuarto segmento de la rama cuatrisegmentada. Postabdomen ovoide con grupos de pequeñas sétulas. Garra terminal pequeña y curvada (Basado en Garfias-Espejo & Elías-Gutiérrez, 2003 y Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008).

**Material examinado:** 31 orgs. (CAB, 25/08/2013). Total 31 organismos.

**Distribución:** Cosmopolita

**Medio Ambiente:** Común entre la vegetación acuática flotante (Fuentes-Reines *et al.*, 2012).

Clase Ostracoda Latreille, 1806  
Subclase Podocopoda G.W. Müller, 1894  
Orden Podocopida G.O. Sars, 1866  
Suborden Cypridocopina Baird, 1845  
Superfamilia Cypridoidea Baird, 1845  
Familia Cyprididae Baird, 1845  
Subfamilia Cyprettinae Hartman, 1971  
Género *Cypretta* Vavra, 1895  
*Cypretta* sp.  
(Fig 12-b)

**Diagnosis:** Organismos de aproximadamente 1 mm. Caparazón con forma trapezoidal globoso, superficie externa de las valvas ligeramente punteada y con setas. Parte interna de las valvas con septas radiales a lo largo del margen anterior. Hemipene con dos lóbulos conspicuos y un lóbulo medio (Basado en Meish, 2000).

**Material examinado:** ~~Material examinado:~~ 92 orgs. (MH, 26/08/2013); 1 org. (CAB, 25/08/2013). Total 93 organismos.

**Distribución mundial:** Neotropical

**Medio Ambiente:** Nectobéntica.

Subfamilia Cypridinae Baird, 1845  
Género *Chlamydotheca* Saussure, 1858  
*Chlamydotheca* sp.

**Diagnosis:** Caparazón rectangular, con pigmentación color café. Valva sin espina en la parte posterior.

**Material examinado:** 3 orgs. (CHI, 11/08/2013). Total 3 organismos.

**Medio Ambiente:** Nectobéntica.

Subfamilia Cypridopsinae Kaufmann, 1900  
Género *Cypridopsis* Stuhlmann, 1888  
*Cypridopsis vidua* (O.F. Müller, 1776)  
(Fig. 12-i)

**Diagnosis:** Caparazón subovalado globoso en vista dorsal y lateralmente, superficie externa de las valvas punteada con setas pequeñas y delgadas. Margen anterior de la valva derecha con una línea de pústulas en vista ventral. Seta natatoria de la antena dos distintivamente larga, alcanzando o excediendo la garra terminal (Basado en Meish, 2000).

**Material examinado:** 631 orgs.: 5 orgs. (MUY, 30/08/2013); 29 orgs. (CHI, 11/08/2013); 4 orgs. (SNH, 11/09/2013); 482 orgs. (EZ, 18/08/2013); 28 orgs. (CBEN, 24/08/2013); 26 orgs. (BAC, 05/08/2013); 11 orgs. (ENC, 19/08/2013); 40 orgs. (CAB, 25/08/2013); 6 orgs. (SJM, 25/08/2013).

**Distribución mundial:** Cosmopolita.

**Medio Ambiente:** Nectobéntica. Muy abundante en litorales, relacionada principalmente con vegetación acuática (Roca *et al.*, 1993). Es una especie tolerante a diferentes variables ambientales como las altas concentraciones iónicas en el agua (Curry, 1999).

Subfamilia Cyprinotinae Bronshtein, 1947  
Género *Heterocypris* Clauss, 1892  
*Heterocypris putei* (Furtos, 1936)  
Furtos (1936)  
(Fig. 12-a)

**Diagnosis:** Caparazón con valvas subiguales margen dorsal arqueado con un ángulo ligeramente redondeado. Márgenes, anterior y posterior, bien redondeados, margen anterior más estrecho. Valva derecha con pequeñas pústulas ventrales en los márgenes anterior y posterior, superficie punteada. Machos con palpos prensiles desiguales, el palpo mayor con un margen más sinuado que el palpo menor. Dactilo del palpo menor estrecho en forma de gancho. Pene triangular, con lóbulo interno alargado, y lóbulo lateral externo con forma de pie (Basado en Furtos, 1936).

**Material examinado:** 27 orgs. (MUY, 30/08/2013); 5 orgs. (CHI, 11/08/2013); 37 orgs. (ENC, 19/08/2013); 9 orgs. (SJM, 25/08/2013). Total 78 organismos.

**Distribución mundial:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Nectobéntica. Tolerante a altos niveles de carbonatos (1.90-4.69 meq/L en este estudio).

Familia Candonidae Kaufmann, 1900  
Subfamilia Candoninae Kaufmann, 1900  
Tribu Candonini Kaufmann, 1900  
Género *Pseudocandona* Kaufmann, 1900  
*Pseudocandona* sp.  
(Fig. 12-k)

**Diagnosis:** Caparazón trapezoidal elongado, superficie lisa con poros en toda la superficie. Proceso M del hemipene delgado y muy poco esclerotizado. Segmento basal de la pata limpiadora con tres setas largas (Basado en Meish, 2000).

**Material examinado:** 19 orgs. (CBEN, 24/08/2013). Total 19 organismos.

**Distribución:** Caparazón trapezoidal elongado, superficie lisa con poros en toda la superficie. Proceso M del hemipene delgado y muy poco esclerotizado. Segmento basal de la pata limpiadora con tres setas largas.

**Medio Ambiente:** Béntica.

Subfamilia Cyclocypridinae Kaufmann, 1900  
Género *Cypria* Zenker, 1854  
*Cypria* sp.  
(Fig. 12-g)

**Diagnosis:** Caparazón elíptico. Pústulas en las valvas cercanas a los márgenes ventrales anterior y posterior. Toracópodo 3 con las setas “e” y “f” largas, seta “h2” y “h1” casi de la misma longitud (Basado en Karanovic, 2012).

**Material examinado:** 11 orgs. (CHI, 11/08/2013). Total 11 organismos.

**Medio Ambiente:** Nectobéntica.

*Cypria* cf. *petenensis* Ferguson, Hutchinson & Gouldon, 1964  
Ferguson, Hutchinson & Gouldon (1964)

**Diagnosis:** Caparazón elíptico, asimétrico en vista lateral; valva izquierda de mayor tamaño que la derecha. Valvas sin ornamentaciones, márgenes, anterior y posterior sin pústulas. Último segmento del tercer toracópodo con dos setas de diferente longitud. Hemipene triangular en machos. Margen ventral del palpo prensil sinuado, con la seta distal corta y delgada sobrepasando el margen distal (Basado en Ferguson, Hutchinson & Gouldon, 1964).

**Material examinado:** 4 orgs. (ENC, 19/08/2013); 17 orgs. (SJM, 25/08/2013). Total 21 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Nectobéntica. Altos niveles de pH (>8) (Echeverría-Galindo, 2016). Amplia tolerancia a carbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) (<100 mg/L) (Echeverría-Galindo, 2016).

Género *Keysercypria* Karanovic, 2011  
*Keysercypria xanabanica* (Furtos, 1936)  
(Fig. 12-h)

**Diagnosis:** Caparazón elíptico, superficie de las valvas liso. Margen de la valva derecha con tubérculos visibles. Garra anterior de la furca distalmente no tan curvada, seta posterior de la furca alcanza casi la mitad del margen distal de la rama (Basado en Karanovic, 2012).

**Material examinado:** 2 orgs. (MH, 26/08/2013). Total 2 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Nectobéntica.

*Keysercypria* sp.  
(Fig. 12-l)

**Diagnosis:** Caparazón usualmente ovoide en vista lateral. Valva izquierda sobrelapa la valva derecha. Seta basal del segundo toracópodo ausente, Seta “e” y “f” del toracópodo 3 muy corto, seta “h2” y “h1” subigualmente largas (Basado en Karanovic, 2011).

**Material examinado:** 54 orgs. (EZ, 18/08/2013). Total 54 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Nectobéntica.

Superfamilia Darwinuloidea Brady & Robertson, 1885  
Familia Darwinulidae Brady & Robertson, 1885  
Género *Alicenula* Rossetti & Martens, 1998  
*Alicenula* sp.  
(Fig. 12-n)

**Diagnosis:** Caparazón alargado, valva izquierda sin diente y valva derecha sin killa posteroventral. Valva derecha sobrelapando la valva izquierda. Penúltimo segmento del palpo mandibular con seta z corta, seta y ausente. Último segmento. Postabdomen largo y espinoso (Basado en Rossetti & Martens, 1998).

**Material examinado:** 22 orgs. (SEÑ, 10/09/2013); 4 orgs. (CHI, 11/08/2013); 8 orgs. (SNH, 11/09/2013). Total 34 organismos.

**Medio Ambiente:** Béntica. Tolera pH altos (8.4-8.9 en este estudio), y elevadas conductividades (116-377  $\mu\text{S cm}^{-1}$  en este estudio).

Género *Darwinula* Brady & Robertson, 1885  
*Darwinula stevensoni* (Brady & Robertson, 1870)  
(Fig. 12-e)

**Diagnosis:** Caparazón alargado visto lateralmente y ovoide visto ventralmente. Valvas con superficie lisa. Valva derecha sobrelapando la izquierda por todos los ángulos excepto en el "hinge". Margen de la valva derecha sinuado anteriormente. Postabdomen cónico y vermiforme (Basado en Rosetti & Martens, 1998).

**Material examinado:** 2 orgs. (MUY, 30/08/2013); 1 org. (BAC, 05/08/2013). Total 3 organismos.

**Distribución:** Cosmopolita.

**Medio Ambiente:** Béntica. Relacionada principalmente con aguas bien oxigenadas y elevadas temperaturas. Relacionado con elevadas concentraciones de carbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) (Echeverría-Galindo, 2016, Mischke *et al.*, 2012). Presenta mayores abundancias en sitios someros, principalmente relacionado a la zona litoral con vegetación acuática (Higuti *et al.*, 2009).

Género *Vestalenula* Rossetti & Martens, 1998  
*Vestalenula pagliolii* (Pinto & Kotzian, 1961)

**Diagnosis:** Caparazón alargado. Con una pequeña quilla sobre la valva derecha; Valva izquierda con un diente interno antero-ventral (Basado en Rosetti & Martens, 1998).

**Material examinado:** 1 org. (ENC, 19/08/2013). Total 1 organismo.

**Distribución:** Neotropical y Palearctica.

**Medio Ambiente:** Béntica.

Superfamilia Cytheroidea  
Familia Cytheridae Baird, 1850  
Género *Perissocytheridea* Stephenson, 1938  
*Perissocytheridea cribosa* (Klie, 1933)  
(Fig. 12-o)

**Diagnosis:** Caparazón subrectangular. Valvas con reticulaciones primarias y secundarias con poros entre las reticulaciones (Basado en Keyser, 1976).

**Material examinado:** 13 orgs. (BAC, 05/08/2013). Total 13 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Béntica. Común en ambientes salobres, principalmente relacionado con salinidad (Nogueira & Ramos., 2016).

Familia Cytherideidae  
Subfamilia Cytherideinae  
Tribu Cytherideidini Kollmann, 1960  
Género *Cyprideis* Jones, 1857  
*Cyprideis* sp.  
(Fig. 12-d)

**Diagnosis:** Caparazón redondeado. Valvas ornamentadas con cuatro nódulos, puntuada en toda la superficie (Basado en Karanovic, 2011).

**Material examinado:** 3 orgs. (BAC, 05/08/2013). Total 3 organismos.

**Medio Ambiente:** Béntica. Común en ambientes salobres, relacionada con altos niveles de salinidad (Mazzini *et al.*, 2015).

Familia Limnocytheridae Klie, 1938  
Subfamilia Limnocytherinae Klie, 1938  
Tribu Limnocytherini Klie, 1938  
Género *Limnocythere* Brady, 1868  
*Limnocythere floridensis* Keyser, 1979  
(Fig. 12-j)

**Diagnosis:** Caparazón elongado. Valvas bien ornamentadas, con el vestíbulo buen desarrollado; margen posteroventral sin aserraciones (Basado en Karanovic, 2011).

**Material examinado:** 56 orgs. (MUJ, 30/08/2013); 12 orgs. (SEÑ, 10/09/2013); 32 orgs. (CBEN, 24/08/2013). Total 100 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Béntica. Altos niveles de pH, ambientes alcalinos. Elevadas conductividades, principalmente relacionados a ambientes mesohalinos (altas concentraciones de Sodio (Na<sup>+</sup>) y Cloruros (Cl<sup>-</sup>)) (Keyser, 1978).

Género *Paracythereis* Delachaux, 1928  
*Paracythereis opesta* (Brehm, 1939)  
(Fig. 12-f)

**Diagnosis:** Caparazón elongado. Valvas con reticulaciones, sin ornamentaciones; margen anterior de las valvas con aserraciones. Parte posterior ventral con una protuberancia. Machos con la rama caudal del hemipene elongado y largo (Basado en Karanovic, 2011 y Cohuo, 2016).

**Material examinado:** 19 orgs. (MH, 26/08/2013); 15 orgs. (BAC, 05/08/2013); 4 orgs. (ENC, 19/08/2013). Total 38 organismos.

**Distribución:** Neotropical.

**Medio Ambiente:** Béntica. Relacionada principalmente a pH altos (8.3-9) (Echeverría-Galindo, 2016). Se registra con mayor abundancia en el litoral asociada a macroalgas, pero se ha registrado en profundidades de 40 m. (Pérez *et al.*, 2013).

Subfamilia Timitiaseviinae Mandelstam, 1960

Género *Cytheridella* Daday, 1905

*Cytheridella ilosvayi* Daday, 1905

(Fig. 12-c)

**Diagnosis:** Caparazón globoso en la región posterior de ambas valvas. Valvas con puntuaciones y setas alargadas. Vestíbulo bien desarrollado. Parte ventral del lóbulo distal del hemipene con un flagelo largo (Basado en Karanovic, 2011).

**Material examinado:** 39 orgs. (SEÑ, 10/09/2013); 11 orgs. (CHI, 11/08/2013); 15 orgs. (SNH, 11/09/2013); 8 orgs. (CBEN, 24/08/2013); 1 org. (BAC, 05/08/2013); 21 orgs. (CAB, 25/08/2013); 2 orgs. (SJM, 25/08/2013). Total 97 organismos.

**Distribución:** Neotropical

**Medio Ambiente:** Béntica. Principalmente en elevadas temperaturas (>20°C). Ha sido colectada a profundidades de 40 m. (Pérez *et al.*, 2013).