



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Aspectos ecológicos de amebas testadas, cladóceros,
ostrácodos y quironómidos en dos cuerpos de agua
impactados: lago Ocotitalo, Chiapas y laguna Bacalar,
Quintana Roo, México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

**AMEZCUA VARGAS MARGARITA DE
MONTSERRAT**



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. LISETH CAROLINA PÉREZ ALVARADO**

Ciudad Universitaria, CD.MX. 2019



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.

HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno

Amezcuca Vargas Margarita de Montserrat
mon_biologa@ciencias.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
31102945-5

2. Datos del tutor

Dra. Liseth Carolina Pérez Alvarado

3. Datos Sinodal 1

Dr. Javier Alcocer Durand

4. Datos Sinodal 2

Dr. Antonio Zoilo Márquez García

5. Datos Sinodal 3

Dr. José Luis Villalobos Hiriart

6. Datos Sinodal 4

Dra. Margarita Erna Caballero Miranda

7. Datos del trabajo escrito

Aspectos ecológicos de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos en dos cuerpos de agua impactados: lago Ocotitalito, Chiapas y laguna Bacalar, Quintana Roo, México.
94 pp
2019

*Sacrificio. No es lo que podría llamar una palabra moderna.
La personas escuchan la palabra sacrificio y se temen que algo vaya a serles
quitado de ellos o que tendrían que dar algo sin lo que no pueden vivir.
Sacrificio, para ellos, significa perdida en un mundo que nos dice que
podemos tenerlo todo.
Pero yo creo que el verdadero sacrificio es una victoria. Esto es porque
requiere libre voluntad para dar algo por alguien a quien amas, o algo o
alguien que amas más que a ti mismo.
No les mentiré, es una apuesta.
El sacrificio no quitará la pena y la perdida, pero le gana la batalla a lo
agridulce, lo agridulce que atenúa la luz de todo lo de verdadero valor en
nuestras vidas.*

-Beautiful creatures

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

A mi alma mater, la máxima casa de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México, por los todos los conocimientos, experiencias y enseñanzas que me ha brindado a lo largo de mi formación académica.

A la Facultad de Ciencias, por brindarme sus instalaciones en las cuales conocí a personas admirables tanto en su labor como docentes así como en la investigación científica.

Al Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, por encontrar en sí las instalaciones para desarrollar este trabajo de tesis.

A la Dra. Liseth Carolina Pérez Alvarado, mi asesora y mentora, la cual me guío y me brindó su apoyo en este proceso de formación, y sobre todo por sus consejos y amistad, así como se ha convertido en una inspiración para seguir adelante en la investigación científica.

A los sinodales por sus valiosos comentarios y correcciones para mejorar el presente escrito.

A las docentes del taller de investigación “Sistemas acuáticos y cambio climático” a cargo de las doctoras Beatriz Ortega, Socorro Lozano, Itzel Sigala, Margarita Caballero, Susana Sosa y Liseth Pérez por todo el conocimiento transmitido y por las críticas constructivas que se me realizaron a lo largo de la elaboración de este escrito.

A la Dra. Itzel Sigala por el apoyo en la identificación taxonómica de amebas testadas, así como brindarme amablemente sus valiosos comentarios durante la realización de este trabajo.

A la Dra. Julieta Massaferrero por el apoyo y guía para la identificación de quironómidos, así como por su motivación en el aprendizaje de este grupo taxonómico.

A la Dra. Margarita Caballero Miranda por sus críticas constructivas y consejos en la elaboración de este trabajo, así como por apoyarnos con equipo de campo.

Al Dr. Alexander Correa así como a la Dra. Lourdes Barbosa, por sus consejos en la parte estadística para el análisis de mis resultados.

A la M. en C. Fernanda Charqueño Celis por la ayuda en la identificación taxonómica de cladóceros y ostrácodos.

A la bióloga Karla Zurisadai Sandoval Rubio por toda la ayuda proporcionada en la revisión de este manuscrito; asimismo, por el entusiasmo para concluir este trabajo de manera satisfactoria.

Al proyecto CONACYT 252148 “Impacto humano en lagos de media altura de la Selva Lacandona, norte de los Neotrópicos” y al proyecto PAPIIT IA100317 “Evaluación neo y paleoambiental en lagos cársticos de la Selva Lacandona y Quintana Roo”, por brindarme el apoyo financiero y beca (con números de registro 25427 y 055118, respectivamente) para cumplir con los objetivos de este trabajo.

Al laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Geología, en específico al Dr. Francisco Romero, al M. en C. Luis Gerardo Martínez Jardines y a la Q. Astrid Ameyalli Vázquez Salgado por sus atenciones y cordialidades brindadas en los análisis químicos de este trabajo. Así como a la Dra. Patricia Girón por el análisis en el espectrofotómetro de fluorescencia de rayos X de algunas muestras de sedimento.

A la M. en C. María Berenit Mendoza Garfías por la toma de fotografía en el microscopio electrónico de barrido en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Dr. Javier Alcocer y al Dr. Luis Oseguera, así como al equipo de trabajo del laboratorio de Limnología Tropical de la FES Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme brindado sus instalaciones y los materiales necesarios para la cuantificación de clorofila del presente trabajo.

Al Dr. Antonio Márquez García y a su equipo de trabajo de la Universidad Autónoma Metropolitana sede Iztapalapa, por el apoyo en la elaboración del análisis granulométrico de los sedimentos superficiales de las muestras analizadas en este trabajo.

A Miguel García y al equipo del Área de Protección de Flora y Fauna Nahá-Metzabok y a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP, así como a la comunidad Lacandona de Nahá, en Selva Lacandona, por sus atenciones para que se llevara a cabo el trabajo de campo de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A María Eugenia Vargas y Sergio Amezcua, mis padres, por su amor y cariño, los cuales considero unos seres maravillosos y agradezco todo el apoyo que me han brindado. Este logro es tanto suyo como mío. Gracias por creer en mí, desvelarse conmigo, entender mi histeria, aguantar todos mis estados de ánimo y humor que pase durante la realización de este trabajo y a lo largo de la carrera. Los amo con todo mi corazón.

A Nancy y Rosario, mis hermanas, por apoyarme y estar conmigo incondicionalmente. Son dos grandes mujeres, las admiro y amo. Tanto ustedes como sus familias siempre contarán con todo mi cariño y apoyo.

A mi abuelita Nati por creer en mí, estar al pendiente, consentirme y darme siempre esperanzas para continuar con mis metas y sueños, así como ser mi ejemplo de una mujer fuerte e independiente.

A Lis, con la que siempre conté a lo largo de este proceso, por creer en mí, por ser mi inspiración académica en la investigación, por brindarme oportunidades que jamás logré obtener. Gracias por tu cariño y apoyo.

A mis amigos y colegas del laboratorio, mi #TeamLis Anaís Cisneros, Martín Garibay, Karlis Sandoval, Fer Charqueño, Pau Echeverría, Mau Bonilla, Johannes Bücken y Azálea por ser mi familia académica durante los últimos años, por enseñarme tanto, por las aventuras, pláticas y momentos inolvidables dentro y fuera del laboratorio.

A Michelle, mi mejor amiga con la que ya desde hace muchos años hemos formado recuerdos especiales. Por acompañarme a lo largo del camino, te adoro a ti y a tu familia, gracias por este tiempo maravilloso juntas.

A mis amigos Yessi Bustamante, Kat Reyna, Xo Arciniega, Angie Zavala, Fer Pacheco, Fer Fleuren, Beto Torres, Javi Fregoso, Juanchis Hernández, Auris Medina y Pepe Rojas, por quienes siento un profundo cariño y admiración, gracias por siempre estar, por formar parte de mis memorias y apoyar mis decisiones. En específico a Luis Juárez Sotelo quien me apoyo y guió en la elaboración de los mapas que se encuentran en este trabajo ¡Gracias amigo!

A mis amigos del instituto, Inés, Lety, Sonia y Geysler quienes hicieron de mi estancia más agradable, un ambiente lleno de optimismo, confianza y amistad.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 INDICADORES BIOLÓGICOS.....	4
2.1.1 Amebas testadas.....	4
2.1.2 Cladóceros.....	5
2.1.3 Ostrácodos.....	6
2.1.4 Quironómidos.....	7
2.2 INDICADORES NO BIOLÓGICOS.....	8
2.2.1 Análisis químico de agua.....	8
2.2.2 Clorofila.....	9
2.2.3 Geoquímica elemental de sedimentos.....	9
2.2.4 Granulometría de sedimentos.....	10
2.3 ANALISIS ESTADÍSTICO.....	12
3. ANTECEDENTES.....	13
4. JUSTIFICACIÓN.....	18
5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	19
6. OBJETIVOS.....	19
7. ÁREA DE ESTUDIO.....	20
7.1 LAGO DE OCOTALITO.....	20
7.2 LAGUNA DE BACALAR.....	21
8. METODOLOGÍA.....	23
8.1 TRABAJO DE CAMPO.....	23
8.2 TRABAJO DE LABORATORIO.....	26
8.2.1 Análisis químico del agua.....	26
8.2.2 Clorofila.....	26

8.2.3	Geoquímica elemental de sedimentos.....	27
8.2.4	Granulometría de sedimentos.....	27
8.2.5	Bioindicadores.....	27
8.3	ANÁLISIS DE DATOS.....	28
9.	RESULTADOS.....	31
9.1	Caracterización y comparación limnológica entre el lago Ocotitalito y la laguna de Bacalar.....	31
9.2	Diversidad de indicadores biológicos en dos cuerpos de agua kársticos del sureste de México.....	38
9.2.1	Amebas testadas.....	39
9.2.2	Cladóceros.....	41
9.2.3	Ostrácodos.....	42
9.2.4	Quironómidos.....	44
9.3	Relación de los taxones con las variables ambientales.....	52
9.4	Ensamblés ecológicos.....	55
10.	DISCUSIÓN.....	58
10.1	Caracterización y comparación limnológica entre el lago Ocotitalito y la laguna de Bacalar.....	58
10.2	Diversidad de indicadores biológicos en dos cuerpos de agua kársticos del sureste de México.....	62
10.3	Relación de los taxones con las variables ambientales.....	69
10.4	Ensamblés ecológicos.....	72
11.	CONCLUSIONES.....	78
12.	LITERATURA CONSULTADA.....	80
13.	ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ubicación geográfica de los cuerpos de agua de este estudio.....	21
Figura 2.- Sitios de muestreo en las tres zonas en el lago Ocotitalito.....	24
Figura 3.- Sitios de muestreo en las tres zonas en la laguna de Bacalar.....	25
Figura 4.- Diagrama ternario de Shepard (1954).....	36
Figura 5.- Lámina de fotografías de microscopía electrónica de barrido de amebas testadas y ostrácodos del lago Ocotitalito.....	46
Figura 6.- Lámina de fotografías de microscopía electrónica de barrido de amebas testadas y ostrácodos de la laguna de Bacalar.....	47
Figura 7.- Lámina de fotografías de microscopía óptica de cladóceros del lago Ocotitalito y laguna de Bacalar.....	48
Figura 8.- Lámina de fotografías de microscopía óptica quironómidos del lago Ocotitalito y laguna de Bacalar.....	48
Figura 9.- Abundancia de taxones identificados en el lago Ocotitalito.....	51
Figura 10.- Abundancia de taxones identificados en la laguna de Bacalar.....	51
Figura 11.- Análisis de Componentes Principales (PCA).....	91
Figura 12.- Análisis de Correspondencia Canónica (CCA).....	54
Figura 13.- Diagrama de conglomerados modo Q y R.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Indicadores biológicos y no biológicos.....	11
Tabla 2.- Datos físicos y químicos del lago Ocotitalito.....	20
Tabla 3.- Datos físicos y químicos de la laguna de Bacalar.....	22
Tabla 4.- Caracterización del entorno de los litorales muestreados.....	23
Tabla 5.- Guías de identificación taxonómica.....	28
Tabla 6.- Parámetros ambientales medidos <i>in situ</i> del lago Ocotitalito y de la laguna de Bacalar.....	32
Tabla 7.- Composición química del agua (aniones y cationes) y concentración de clorofila (Clor-a) del lago Ocotitalito y de la laguna de Bacalar.....	34
Tabla 8.- Geoquímica elemental de sedimentos superficiales del lago Ocotitalito y de la laguna de Bacalar.....	37
Tabla 9.- Granulometría de sedimentos superficiales del lago Ocotitalito y de la laguna de Bacalar.....	38

Tabla 10.- Registro de las especies y riqueza específica de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos en los sitios de muestreo en los cuerpos de agua lago Ocotitalito y laguna de Bacalar.....49

Tabla 11.- Abundancia de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos.....50

Tabla 12.- Índices de diversidad en cada sitio de muestreo.....50

ANEXOS

Anexo I.- Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables ambientales de ambos cuerpos de agua.....91

Anexo II.- Fotografías del lago Ocotitalito.....92

Anexo III.- Fotografías de la laguna de Bacalar.....93

Anexo IV.- Abundancia en porcentaje de los taxones según el agrupamiento en el análisis de cúmulos modo Q.....94

RESUMEN

El sureste de México se caracteriza por poseer regiones hidrológicas kársticas, como parte de ellas el lago Ocotitalito (OCOT, 920 m.s.n.m., 400 m² y 26 m de profundidad máxima) dentro de Selva Lacandona, Chiapas y la laguna de Bacalar (BAC, 30 m.s.n.m., 40 km² y 16 m de profundidad máxima), Quintana Roo. Ambos cuerpos de agua se encuentran afectados por actividades antrópicas, principalmente por turismo y deforestación; por lo que se les considera como impactados. Estas actividades pueden generar cambios como la pérdida de biodiversidad y eutrofización, entre otros. Con la finalidad de generar información que permita comprender el impacto de estas modificaciones en los ambientes acuáticos y en las comunidades biológicas que los habitan, el principal objetivo de este estudio fue analizar las preferencias ecológicas de bioindicadores acuáticos en el lago Ocotitalito y la laguna de Bacalar comparando su respuesta entre diferentes sitios de muestreo dentro de cada cuerpo de agua y entre ellos. Los grupos de bioindicadores acuáticos analizados fueron amebas testadas (Arcellinida), cladóceros (Crustacea), ostrácodos (Crustacea) y quironómidos (Insecta) ya que responden rápidamente a los cambios ambientales tanto naturales como antrópicos. Para realizarlo, se seleccionaron diferentes puntos de muestreo distribuidos a lo largo de la zona litoral de ambos cuerpos lacustres. En ellos se midieron variables ambientales como: el análisis fisicoquímico del agua, la concentración de clorofila-a, la geoquímica elemental y granulometría de los sedimentos superficiales. Adicionalmente, se colectaron muestras de sedimentos superficiales de los cuales se revisaron 2.5 cm³ de cada una obteniendo la riqueza y abundancia de las especies encontradas. Se reconocieron 33 taxones con 2,570 individuos en Ocotitalito y 27 taxones con 1,540 individuos en Bacalar. El grupo con mayor diversidad y densidad en ambos sitios fueron las amebas testadas (OCOT: 14 taxa con 1,001 individuos y BAC: 11 taxa con 619 individuos), seguido de los ostrácodos (OCOT: 10 taxa con 679 individuos y BAC: 14 taxa con 850 individuos); en contraste los cladóceros (OCOT: 5 taxa con 416 individuos y BAC: 1 taxa con 6 individuos) y quironómidos (OCOT: 4 taxa con 474 individuos y BAC: 1 taxa con 65 individuos) fueron escasos. Ambientalmente la conductividad y la geoquímica elemental de sedimentos superficiales fueron las variables que distinguen a ambos cuerpos lacustres, mientras que la composición química del agua (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ y CO₃²⁻) y la presencia de elementos como el As y Pb fueron las que caracterizaron a los sitios de muestreo dentro de cada cuerpo de agua. El resultado del análisis de correspondencia canónica (CCA) sugiere que la composición química del agua (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻ y SO₄²⁻) se relaciona con la distribución de los ostrácodos en Bacalar y los metales de los sedimentos superficiales (Fe, As y Pb) con la distribución de cladóceros, quironómidos y amebas testadas. Además, a nivel específico se observó que los ostrácodos *Perissocytheridae cribosa* y *Cyprideis* sp. se relacionaron con elevadas concentraciones de Na⁺+K⁺ (≤8.77 meq/L) y Cl⁻ (≤12.25 meq/L) al norte de la laguna, la especie *Strandesia intrepida* con las arcillas, *Heterocypris putei* con la conductividad (2,520 µS/cm) y que los taxa de amebas como *Diffflugia glans* var. "glans", *Diffflugia urceolata* var. "elongata" y *Arcella discoidea* se relacionaron con los metales antes mencionados presentes en los sedimentos de Ocotitalito. Finalmente por medio del análisis de cúmulos Q y R se identificaron cuatro grupos, los cuales evidencian la heterogeneidad entre los puntos litorales de ambos cuerpos lacustres de acuerdo con la abundancia y las preferencias ecológicas de los taxones. Con ello se identificó que la distribución del grupo 1 fue en los litorales al norte y centro de Bacalar y en el sitio noroeste de Ocotitalito y se caracterizó por un ensamble de especies con preferencia a altas conductividades. El grupo 2 únicamente se distribuyó en un solo sitio de muestreo al sur de la laguna y corresponde a especies tolerantes y oportunistas, lo que podría ser una respuesta indirecta de los organismos ante el turismo en el área. Los grupos 3 y 4 se distribuyeron en Ocotitalito en el zona noroeste y sureste y se conformaron por organismos relacionados con condiciones mesotróficas y con abundante presencia de vegetación acuática, respectivamente.

Palabras clave: Ecología, bioindicadores, amebas testadas, cladóceros, ostrácodos, quironómidos, México

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas acuáticos son ambientes que nos proporcionan servicios ecosistémicos indispensables como los usos domésticos e industriales, la recreación, así como representar sitios con alta biodiversidad y por ende son sostén de la vida (Grosberg *et al.*, 2012; Postel y Carpenter, 2012). A pesar de ello, la integridad de estos ecosistemas se ha visto severamente comprometida debido a condiciones climáticas naturales, las cuales se magnifican con las diversas actividades humanas, entre las cuales se encuentra el turismo, la deforestación, la construcción de carreteras y caminos, la descarga de aguas residuales, introducción de contaminantes y especies no nativas, entre otras (Ruiz *et al.*, 2005; CONABIO, 2006; Williamson *et al.*, 2008; Andrade, 2010). Todo esto modifica las condiciones ambientales y altera la dinámica de los componentes bióticos y abióticos del sistema. Por ejemplo, el cambio en las condiciones dentro de los cuerpos de agua se evidencia en cuanto al cambio en la turbidez, sedimentación, eutrofización, pH, salinidad, contenido de oxígeno disuelto y composición química del agua (Ruiz *et al.*, 2013; Cañedo *et al.*, 2016). Asimismo, estos cambios modifican la distribución, la estructura de las comunidades y la función de los organismos; lo que afecta su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva (Vázquez *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2007).

Para definir o evaluar estos cambios se recurre al uso de indicadores que pueden ser biológicos o no biológicos. Los indicadores biológicos, también llamados bioindicadores, son organismos sensibles y de rápida respuesta a cambios en las condiciones físicas, químicas y ecológicas (Holt y Miller, 2010).

En este estudio se utilizaron amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos, que aparte de ser sensibles ante cambios naturales en el sistema, permiten conocer los efectos del impacto antrópico en los cuerpos de agua (Ruiz *et al.*, 2005). Poseen estructuras resistentes a la degradación que permiten su conservación en registros sedimentarios lacustres; a estos grupos también se les conoce como paleobioindicadores (Payne y Mitchell, 2009). Las amebas testadas (Amoebozoa: Arcellinida) son organismos que responden ante cambios en el pH, eutrofización y contaminación por metales pesados (Payne, 2013). Los microcrustáceos, ostrácodos (Crustacea: Ostracoda) y cladóceros (Crustacea: Branchiopoda), brindan información sobre salinidad, pH, oxígeno disuelto, profundidad y estado trófico del lago (Pérez *et al.*, 2010). Finalmente, los quironómidos (Insecta: Diptera) responden principalmente al enriquecimiento de nutrientes en el sistema lacustre (Helson *et al.*, 2006).

Por otra parte, los indicadores no biológicos son aquellos parámetros físicos o químicos que permiten identificar cambios ambientales. Pueden ser de diversos tipos, como la salinidad, pH, conductividad eléctrica, entre otros en la columna de agua o en los sedimentos su geoquímica, granulometría, etc. La geoquímica elemental de sedimentos superficiales, consiste en determinar la abundancia de elementos traza (p.e. As, Pb, Hg, Mn y Ti) y/o mayores (p.e. Fe, Ca y Si) que se encuentran en los sedimentos, ya que su abundancia puede indicar, por ejemplo erosión (como el Ti) (Roy *et al.*, 2012). Además, las concentraciones de metales pesados como As, Hg, Pb, Cd y Cr en los sedimentos de un lago proporcionan información preliminar sobre la posibilidad de contaminación del ecosistema acuático (Pérez *et al.*, 2011, Boës *et al.*, 2011).

El lago Ocotálito (Chiapas, México) y la laguna de Bacalar (Quintana Roo, México), son cuerpos de agua que se encuentran influenciados por diferentes actividades humanas como el turismo, la agricultura, deforestación y construcción de caminos, por lo que es importante caracterizarlos ecológicamente para así brindar información que sirva de base para permitir el establecimiento de estrategias de conservación y manejo. Por esta razón el presente estudio pretende analizar algunos aspectos sobre la distribución ecológica de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos en estos lagos, analizando simultáneamente parámetros que pudieran ser relevantes en determinar la distribución de estos organismos en los lagos analizados como la química del agua, concentración de clorofila, geoquímica elemental y granulometría de sedimentos superficiales. Mediante el análisis de estos parámetros se pretende caracterizar los cuerpos de agua seleccionados para este estudio así como las comunidades que los caracterizan dentro de cada uno de los grupos biológicos analizados, proporcionando datos limnológicos y ecológicos básicos para ambos cuerpos de agua.

2. MARCO TEÓRICO

Los indicadores ambientales son variables que describen el estado de un sistema, y que sirven de base para la descripción y evaluación de su estado (Walz, 2000). Brindan información relevante que ayuda a los responsables de la toma de decisiones en la formulación de políticas y orientación sobre el monitoreo y evaluación de ecosistemas (Niemeijer y Groot, 2008). Los bioindicadores, son organismos que tienen una alta sensibilidad ante el cambio en las condiciones de su hábitat. De acuerdo a las

preferencias ecológicas de cada especie, forman conjuntos particulares y representativos que caracterizan cada condición ambiental, a estos agrupamientos se les denomina ensamblajes ecológicos. Usualmente, tales ensamblajes, son una mezcla de especies tolerantes a una variedad limitada (estenotópicas) y especies tolerantes a una amplia gama (euritópicas) de condiciones ambientales, denotando la diversidad de condiciones muestradas (Dufrêne y Legendre, 1997).

Los microorganismos acuáticos del plancton y bentos, entre ellos las amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos, se caracterizan por tener ciclos de vida cortos y un papel muy importante en la cadena trófica. Cada grupo de especies posee preferencias ecológicas diferentes que indican cambios derivados de tipo climático o por diferentes actividades humanas. El uso de estos indicadores tanto biológicos como no biológicos para determinar las causas climáticas o antrópicas se detallan en la Tabla 1 y a continuación se detalla una descripción de cada uno de ellos.

2.1 Indicadores biológicos

2.1.1 Amebas testadas

Organismos ameboides unicelulares que se caracterizan por poseer una testa. El tamaño de la testa varía de 5 a 500 μm , esta puede ser de origen autógeno (secretado proteínico del organismo) o xenógeno (construido por aglutinación de materiales como granos minerales y frústulos de diatomeas) (Medioli y Scott, 1988; Patterson y Kumar, 2000), rasgo que también puede proporcionar datos limnológicos importantes.

Son una agrupación polifilética artificial de protozoos ameboides testados. Durante la reproducción, el tamaño de la testa de las hijas se determina por el volumen de citoplasma y la cantidad de alimento disponible antes de la reproducción. La temperatura del agua es también un factor determinante del tamaño de las células hijas (Patterson y Kumar, 2002). Debido a que se reproducen rápidamente (con tiempos de generación de sólo pocos días a semanas), son excelentes indicadores continuos de la salud de un ecosistema (Patterson y Kumar, 2000).

Generalmente se encuentran en todo el mundo en ambientes de agua dulce a levemente salobres, entre estos son: lagos, ambientes estuarinos, marismas de agua dulce y salada, suelos, turba, musgo, corteza de árbol y aguas estancadas (Medioli y Scott, 1988; Patterson y Kumar, 2002).

Son utilizados como indicadores ambientales y paleoambientales debido a su gran abundancia y diversidad de especies, distribución generalizada, fácil identificación y

buena conservación en los sedimentos (Escobar *et al.*, 2008; Payne, 2013). Su rápida tasa de reproducción los hace particularmente útiles para monitorear lagos vulnerables a la carga de contaminantes y cuerpos de agua eutrofizados (Neville *et al.*, 2010; Patterson *et al.*, 2013).

La respuesta de estos organismos ha sido detectada ante variables limnológicas como la temperatura, pH, concentraciones de oxígeno disuelto, contenido de metales pesados (por ejemplo al As, Hg y Co), estado trófico del cuerpo de agua en relación con C:N, el contenido de fósforo y tamaño de grano. La respuesta se da a través de la diversidad y abundancia de estos organismos (Patterson y Kumar 2002; Escobar *et al.*, 2008; Patterson *et al.*, 2013; Nasser *et al.*, 2016). También, las amebas testadas indican eutrofización en los cuerpos lacustres debido a la preferencia de diversas especies dentro de este grupo por aguas y sedimentos ricos en materia orgánica; así como la presencia de ciertas especies como *Arcella discoïdes* o en general del género *Centropyxis* cuando existe la presencia o abundancia de metales pesados (Kumar y Patterson, 2000).

2.1.2 Cladóceros

Grupo microscópico de crustáceos transparentes, de la clase Branchiopoda, su tamaño en su mayoría <2 mm y son conocidos coloquialmente como pulgas de agua. Habitan cualquier tipo de cuerpo de agua dulce. En cuanto a su desarrollo y reproducción, no tienen etapa naupliar y su tasa reproductiva depende de varios parámetros, los más importantes la temperatura y la edad; la reproducción común de las especies de cladóceros bentónicos es la partenogénesis (Dole-Olivier *et al.*, 2000). Debido a que una cría exitosa puede producir de 5 a 10 juveniles que, a su vez, pueden reproducirse después de 1-2 semanas, las poblaciones aumentan exponencialmente lo que permite a las comunidades responder rápidamente a cambios ambientales (Korhola y Rautio, 2002). Además, cabe señalar que poseen efipias, las cuales son huevos en diapausa en el que se encuentran hasta encontrar las condiciones óptimas (Szeroczynska, 2002).

La mayor diversidad de especies se encuentra en la vegetación de los márgenes de lagos y estanques. Habitan zonas pelágicas, litorales y bentónicas. Su distribución se controla por dos factores: su capacidad de dispersión (capacidad de un organismo para moverse o ser fácilmente transportado) y su tolerancia a diversas condiciones ambientales (capacidad de un organismo para sobrevivir a las presiones físicas, químicas y biológicas). Son sensibles al tipo de sustrato que habitan y sus restos son de los más

frecuentemente encontrados en depósitos sedimentarios (Korhola y Rautio, 2002; Forró *et al.*, 2008).

Los cladóceros son sensibles a los cambios en el estado trófico del lago, brindan información sobre diversos eventos ambientales y perturbaciones que afectan el estado del lago, tales como cambios climáticos, oscilaciones tróficas, acidificación y cambios en el nivel del agua, además de ser sensibles ante el pH, el contenido de oxígeno disuelto y la temperatura (Dole-Olivier *et al.*, 2000; Szeroczynska, 2002).

Los cladóceros pueden indicar influencia humana en los entornos de los lagos, al estar correlacionados con plantas que son utilizadas en actividades humanas. Se ha observado, que el aumento de estas plantas influye en la presencia y abundancia de especies pelágicas en la zona litoral, ya que prefieren aguas ricas en nutrientes; lo que explica que estos cambios en la composición y abundancia de las especies puede indicar ocurrencia humana en las proximidades de los lagos (Szeroczynska, 2002).

2.1.3 Ostrácodos

Los ostrácodos son microcrustáceos, los cuales se distinguen por poseer un caparazón calcáreo bivalvo comprimido lateralmente que envuelve al organismo completamente dentro de él. Su tamaño adulto es de 0.4 a 3 mm de largo (Canudo, 2002). Son organismos que habitan diversos tipos de ambientes, el orden Podocopida, se distingue por agrupar especies que habitan aguas dulces con valvas que suelen ser lisas o con ornamentación menor, mientras que Myodocopida y Paleocopida agrupan especies marinas y fósiles, respectivamente (Dole-Olivier *et al.*, 2000). Estos microcrustáceos presentan dos tipos de reproducción: partenogénica y sexual. En el caso de la primera se presentarán únicamente hembras en la población. En la reproducción sexual hay presencia de una larva nauplio que va a crecer generalmente por 8 mudas entre la eclosión del huevo y el adulto. Mientras más se aproxime a la etapa adulta, denominada "A" la concha presentará un aumento en el grado de calcificación y complejidad de las valvas. El tiempo que les lleva para alcanzar la madurez no es constante y depende de las condiciones ambientales. La mayoría de estos organismos muestran algún grado de estacionalidad en su distribución; especialmente aquellos adaptados a la desecación (Holmes, 2002). Su identificación taxonómica se basa principalmente en el tamaño del caparazón, en la superficie de sus valvas, en la charnela dorsal, así como en las impresiones musculares, entre otras (Baltanás y Mesquita-Joanes, 2015).

Son organismos sensibles a factores ecológicos como la temperatura, la profundidad del agua, conductividad eléctrica, vegetación acuática, composición iónica del agua, pH, contenido de oxígeno disuelto, contenido orgánico de los sedimentos lacustres, disponibilidad de alimento y depredación (Roca *et al.*, 1993; Mezquita *et al.*, 1999; Meisch, 2000; Canudo, 2002; Kùlköylüođlu, 2004; Kùlköylüođlu *et al.*, 2007; Pérez, 2010).

Su desarrollo está influenciado por propiedades físico-químicas de las aguas, la velocidad de flujo, tamaños de grano y las tasas de sedimentación, así como la presencia de ciertas especies o conjuntos de ellas. La abundancia de estos organismos se determinan por la salinidad, temperatura, nivel de nutrientes, presencia de pesticidas, herbicidas y metales pesados (Pérez *et al.*, 2013; Ruiz *et al.*, 2013). Por otro lado, en cuanto a la respuesta de los ostrácodos ante el impacto humano, se refleja en una disminución en la riqueza y diversidad de ostrácodos, sin embargo las especies tolerantes son dominantes, pero esto dependerá del tipo de impacto; por ejemplo, a los pesticidas y herbicidas, así como también su respuesta ante concentraciones y presencia de metales pesados en los sedimentos (Ruiz *et al.*, 2013).

2.1.4 Quironómidos

Son el grupo de insectos del orden Diptera, pertenecientes a la familia Chironomidae, la más abundante en ambientes de agua dulce y con distribución mundial. Pasan la mayor parte de su ciclo de vida desde el huevo, larva y pupa en hábitats acuáticos (Pinder 1986; Ferrington, 2007; Pérez *et al.*, 2013). Se caracterizan por poseer una capsula cefálica altamente quitinizada, la cual se preserva por cientos o miles de años en los sedimentos lacustres por lo cual son utilizados como paleobioindicadores. El modo de alimentación de este grupo se definió por Monakov (1972) como: filtradores, raspadores, depredadores y comederos mixtos; aunque son pocas las especies que se encuentran restringidas a un único modo de alimentación.

Los quironómidos se encuentran entre los insectos acuáticos más tolerantes a las temperaturas del agua y del aire. La temperatura es uno de los principales factores que controlan sus tasas de crecimiento y desarrollo. Casi todas las especies de quironómidos exhiben preferencias por ciertas profundidades del agua (Ferrington, 2007). Pueden tener una clara preferencia por cierto tipo de substrato (roca dura, sedimento blando, madera sumergida y plantas acuáticas) (Pinder, 1986). Las larvas de quironómidos en general están confinadas a las capas superficiales de sedimentos blandos y comúnmente colonizan la superficie de troncos sumergidos. Hay una relación positiva entre la

distribución de los lechos de macrofitas y la abundancia y/o diversidad de Chironomidae (Ferrington, 2007).

Muchas especies de este grupo toleran un amplio rango de pH, de 6.0 a 9.0. La disminución del pH da como resultado la aparición de menos especies. La capacidad de tolerar un amplio rango de pH parece ocurrir con mayor frecuencia dentro de la tribu Chironomini. Algunas especies de quironómidos toleran un amplio rango de salinidad, esto sugiere que la composición de iones, así como la salinidad, es un factor importante que influye en la distribución de quironómidos. Otra de las variables que define al grupo, es la concentración de oxígeno disuelto, ya que muchas especies de larvas de quironómidos toleran condiciones poco oxigenadas, dicha tolerancia está relacionada con la posesión de hemoglobina. Es un grupo afín por el alto contenido de materia orgánica en los sedimentos (Pinder 1986).

Ciertas especies son oportunistas y pueden vivir en ecosistemas perturbados y bajo condiciones extremas, por lo que hay especies con requerimientos muy diferentes en cuanto a la calidad del agua, lo cual es usado como indicador de la misma, además de un aumento en su frecuencia relativa respecto al total de macroinvertebrados nos indica que existe alguna perturbación en el ecosistema (Walker, 2002, Ladrera, 2012). Los ensamblajes de quironómidos son conocidos por experimentar cambios marcados en la composición como respuesta al aumento de la carga de nutrientes y la disminución del oxígeno disuelto, como resultado de la actividad antrópica (Quinlan *et al.*, 1998).

2.2 Indicadores no biológicos

2.2.1 Análisis químico de agua

Para realizar un estudio limnológico algunos parámetros deben ser medidos *in situ* como el pH, la conductividad eléctrica, la temperatura y el oxígeno disuelto (Fagundo *et al.*, 2003). Además en el laboratorio se pueden complementar estos datos con el análisis de parámetros que no pueden ser medidos fácilmente en campo, como el contenido de iones mayores, nutrientes, concentraciones de clorofilas, etc.

La composición química del agua depende de factores tales como el contexto geológico, el clima, la influencia humana, entre otras variantes. Además, está determinada en gran medida por las concentraciones de iones; entre los cuales los más abundantes en sistemas kársticos son el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , cuyo origen es por la disolución de minerales calcáreos como la calcita (CaCO_3) y la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), en donde el Ca^{2+} suele

estar en mayor proporción que el Mg^{2+} . El sodio (Na^+) en estos sistemas es menos abundante, aunque también puede estar presente. La disolución de calcita también proporciona iones HCO_3^- y CO_3^{2-} al sistema, los que determinan su alcalinidad total y en algunas ocasiones también el sulfato (SO_4^{2-}) y los Cl^- pueden estar presentes en estos sistemas, sobre todo si existe cercanía al mar. El nitrógeno se encuentra presente de distintas formas dentro de los sistemas lacustres, bajo condiciones reductoras como amonio (NH_4^+), pero bajo condiciones oxidantes se encuentra principalmente como nitratos (NO_3^-) (Canales, 2015) (Tabla 1).

2.2.2 Clorofila

El fitoplancton se compone de organismos fotosintéticos que viven suspendidos en la columna de agua y que son productores primarios en las redes tróficas de los sistemas lacustres (Hout *et al.*, 2007). La concentración de clorofila en el agua es una forma de cuantificar la intensidad de la actividad fotosintética de estos organismos en la columna de agua y puede ser utilizada también para determinar el nivel trófico de un ecosistema lacustre. De los factores principales que influyen en la dinámica fitoplanctónica son la temperatura y la luz (González *et al.*, 2015). Dentro de la producción de la biomasa interviene la disponibilidad de nutrientes (Tabla 1) y el consumo del fitoplancton por depredadores que, como parte de la cadena trófica, regulan a estos organismos. Del mismo modo, la producción del fitoplancton se ve condicionada ante la disponibilidad de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno con los valores de clorofila (Clor-a) (Smith, 2006).

2.2.3 Geoquímica elemental de sedimentos

El análisis geoquímico elemental de sedimentos lacustres, se basa en la cuantificación de las concentraciones totales de los principales elementos que conforman a las rocas sedimentarias y con ello se obtiene información sobre las propiedades geoquímicas de los sedimentos, que se puede relacionar con la geología del área y la evolución del sistema (Boyle, 2000). Existen diferentes metodologías para ello, como el método no invasivo de alta resolución Fluorescencia de Rayos X (FRX) (Croudace y Rothwell, 2015). Esta técnica se basa en emitir rayos X sobre la muestra los cuales por radiación electromagnética excitan a los átomos de los elementos y es así como se logran cuantificar. Además, al realizarla se debe considerar que en sedimentos ricos en materia

orgánica es necesario conocer la concentración de ésta, la cual se puede medir por pérdida de ignición (LOI) (Boyle, 2001) (Tabla 1).

2.2.4 Granulometría de sedimentos

La granulometría de los sedimentos consiste en la medición del tamaño de grano para la obtención del contenido de arcillas, limos y arenas. La granulometría de sedimentos puede ser un factor asociado con la calidad ambiental de un cuerpo de agua, debido a la relación entre la concentración alta de sedimentos finos con la acumulación de metales pesados, así los sedimentos limosos o arcillosos son excelentes receptores de elementos contaminantes (Pineda, 2009) (Tabla 1). Un ejemplo de ello es la relación entre los limos con el alto contenido de elementos como Cr, Cu, Ni y Zn, ya que incorpora cationes en la superficie (Suresh *et al.*, 2012). Además de que la distribución del contenido de arenas, limos y arcillas, permite conocer la energía dentro del sistema lacustre; es decir, si hay un mayor contenido de arcillas, permite inferir que el sedimento se depositó en un ambiente de una energía baja, mientras que un bajo contenido de arcillas y un alto contenido de arenas refleja un sitio con alta energía.

Tabla 1.- Indicadores biológicos y no biológicos. Se señala con un + qué tipo de causa climática o actividades humanas indican cada grupo. La mayor cantidad de + se asocia un mayor número de referencias que hacen ese tipo de relaciones. Esta tabla se realizó con base a: Boyle, 2000; Kumar y Patterson, 2000; Szeroczynska, 2002; Walker, 2002; Pineda, 2009; Ruiz *et al.*, 2013; Patterson *et al.*, 2013; Payne, 2013; Pérez *et al.*, 2013; Canales, 2015; González *et al.*, 2015; Nasser *et al.*, 2016; Charqueño, 2017.

		Indicadores biológicos				Indicadores no biológicos			
		Protistas	Artrópodos			Geoquímica	Química del agua	Clorofila	Granulometría de sedimentos
			Microcrustáceos		Insectos				
		Amebas testadas	Cladóceros	Ostrácodos	Quironómidos				
Clima	pH	+	+	+			+++		
	Temperatura			+	+++		+		
	Cont. OD			+	+		++		
	Salinidad			+			+		
	Acidificación	+	++				+++		
	Cambios en el nivel del agua		+	+++		+			
	Nivel trófico	+++	+	+	++	+		+	
Actividad humana	Contaminación	+	+	+	+	+++	+		+
	Metales pesados	+++				+++	+		+
	Agricultura	+	++	+		++	+	+	
	Urbanismo	+		+	+	+	+		
	Uso de plaguicidas	+		+			+++	+	
	Cambios en el nivel del agua		+	+		+			
	Especies introducidas		++	+					
Eutrofización	+++	+	+	++	+		+		

2.3 Análisis Estadístico

El Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés); se define como una técnica exploratoria multivariada que permite reducir la dimensión de los datos. Examina las relaciones entre un conjunto de p variables correlacionadas y las transforma en un nuevo conjunto de p variables no correlacionadas llamadas componentes principales. Estas nuevas variables son combinaciones lineales de las variables originales y se derivan en orden decreciente de importancia, de manera que la primera componente principal explique tanta variación en los datos originales como sea posible, la segunda la mayor variación posible que la primera no pudo explicar y así sucesivamente. De tal forma que cada componente principal contiene información de las p variables originales, y entre todas las componentes, explican a todas las variables originales. Tienen como objetivo sintetizar un gran conjunto de datos, así como reducir la dimensión de un conjunto de variables a un conjunto de menor número de variables para mejorar la interpretación de los datos (Jolliffe, 2011).

El análisis de correspondencia canónica (CCA, por sus siglas en inglés) es un método multivariado utilizado para explicar las relaciones entre los conjuntos biológicos de las especies y su entorno. Esto lo realiza a través de varias funciones canónicas que maximizan la correlación entre combinaciones lineales (valores teóricos canónicos). El objetivo de este análisis es determinar si dos conjuntos de variables son independientes uno de otro o, inversamente, y establece la magnitud de las relaciones que pueden existir entre los dos conjuntos (Ter Braak, 1986). Estos dos conjuntos se refieren en ciencias acuáticas, específicamente en ecología de comunidades, a datos sobre la ocurrencia o abundancia de un número de especies en una serie de sitios, y datos sobre variables ambientales medidas en los mismos sitios. Con ello se puede describir y visualizar concisamente las preferencias diferenciales del hábitat de los taxones, a través de un diagrama de ordenación (Ter Braak y Verdonschot, 1995).

El análisis de conglomerados o cúmulos modo Q y R es un análisis de ordenación y agrupamiento, en donde el modo Q se usa para agrupar muestras que contengan poblaciones de los grupos que son estadísticamente similares, esto lo realiza por el método de varianza mínima de Ward, registrándose como distancias euclidianas (Fishbein y Patterson, 1993). El modo R se usa para determinar qué especies están más estrechamente relacionadas entre sí, para ello se usó el mismo método que para el modo Q; aunque cabe señalar que este método se ha utilizado únicamente para el caso de las amebas testadas (Roe *et al.*, 2010; Nasser *et al.*, 2016).

3. ANTECEDENTES

Los estudios sobre bioindicadores acuáticos (microcrustáceos, amebas testadas y quironómidos) en el sureste de México son escasos, entre estos se encuentran trabajos realizados en la Península de Yucatán, como el trabajo de Pérez y colaboradores en el 2013; en el cual se analiza la relación entre especies de microcrustáceos y quironómidos con múltiples variables ambientales. Obteniendo que especies como *Perissocytheridea cribosa*, *Chironomus anthracinus* y *Daphnia mendotae* son sensibles a cambios en la composición química del agua y al estado trófico; por ejemplo, el bicarbonato es la variable más influyente en la distribución de los quironómidos, seguido del estado trófico de los lagos. Mientras que la conductividad es la principal variable control, en general, en las comunidades de cladóceros y ostrácodos no marinos y se relaciona con el gradiente de precipitación y la influencia marina en la península de Yucatán, (Pérez *et al.*, 2013).

En la Península de Yucatán, diversos cuerpos de agua se han descrito en cuanto a sus características limnológicas, morfológicas, propiedades físicas y químicas del agua y geoquímica de sedimentos superficiales; clasificándolos en función de su gradiente trófico (eutrófico y oligotrófico) y si son lagos, lagunas, humedales, lagos de altura, dolinas y ríos. Además, se conoce que el calcio, los carbonatos y los sulfatos son los elementos que dominan las aguas de los lagos de tierras bajas. También, que los elementos principales y traza de los sedimentos superficiales mostraron evidencia de contaminación y desarrollo urbano por altas concentraciones de As, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Zn y Zr (Pérez *et al.*, 2011).

Para las tierras medias, como es el caso de la Selva Lacandona en Chiapas, se ha registrado que ostrácodos como *Limnocythere opesta*, *Darwinula stevensoni*, *Pseudocandona annae*, *Cytheridella ilosvayi* y *Cyprina petenensis* se relacionan con variables ambientales como la precipitación, conductividad, profundidad, pH y bicarbonatos. Esto con base a la presencia/ausencia y abundancia de ciertas especies. Entre las especies estudiadas son *Cyprina petenensis* relacionada a niveles altos de precipitación, *Cypridopsis okeechobei* tolerante a precipitación y pH, *Cytheridella ilosvayi* a niveles altos de conductividad, *Darwinula stevensoni* tolerante a la conductividad y abundante en tierras medias-altas, *Limnocythere opesta* a niveles altos de precipitación y bajos de bicarbonatos, y *Pseudocandona annae* a valores altos de bicarbonatos. Las relaciones se definieron a través de un gradiente altitudinal considerando los rangos óptimos de tolerancia de las especies y funciones de transferencia para conductividad y profundidad (Echeverría-Galindo, 2016).

Cabe señalar, que previo a este trabajo no se había realizado en conjunto una revisión de estos cuatro grupos de bioindicadores en los cuerpos de agua del sureste de México; sin embargo ya se tenían reportes de la presencia y ecología de algunas especies en los sistemas lacustres como se describe a continuación. La mayoría de estos trabajos son de tipo regionales, pocos son estudios locales, por lo que faltan más de estos e incluso que se comparen diferentes sitios dentro de los cuerpos de agua.

Lago Ocotitalito

Los estudios en el lago Ocotitalito son escasos, entre ellos se encuentran los realizados por: Franco (2014), Díaz (2015), Echeverría (2016) y Garibay (2018). Dentro de estos se encuentran trabajos de ecología actual y paleoambientales. Díaz (2015), por ejemplo, efectuó un estudio de reconstrucción ambiental, sin embargo, identificó cinco especies de ostrácodos en muestras actuales (*Cytheridella ilosvayi*, *Darwinula stevensoni*, *Potamocypris* sp., *Pseudocandona* sp. y *Chlamydotheca* sp.) y describió que los cambios en la población son resultado de variaciones ambientales locales en la temperatura y concentración de oxígeno, pues estos factores abióticos al igual que el pH, no son homogéneos en el lago y varían estacionalmente. Las especies más abundantes que encontró son: *C. ilosvayi* y *D. stevensoni*. Mientras que las especies menos abundantes fueron: *Potamocypris* sp., *Pseudocandona* sp. y *Chlamydotheca* sp. Y las muestras que obtuvo de litoral fueron más abundantes que las muestras que obtuvo de draga (a una profundidad de 7 y 23 m). Esto lo relacionó con que la zona litoral se caracteriza por presentar más oxígeno, temperaturas más cálidas y disposición de alimento. La densidad de ostrácodos dentro del lago Ocotitalito, la interpreto en función de la presencia/ausencia y densidad de la vegetación acuática, la cual sirve como refugio y alimento para los ostrácodos (Díaz, 2015). Echeverría (2016) analizó muestras actuales, del año 2013, sedimentos superficiales de la zona litoral y la más profunda del lago (23 m); reportó algunas especies de ostrácodos en el lago que se encuentran restringidas a este como: *Chlamydoteca unispinosa*, *Heterocypris* sp., *Strandesia* sp., *Vestalenula* sp. y *Cypria* sp.; así como la presencia de *Potamocypris* sp., *Darwinula stevensoni*, *Pseudocandona annae* y *Cytheridella ilosvayi*, las cuales se encuentran también en otros lagos. Además, determinó que Ocotitalito se encuentra en un rango de hasta 23 m de profundidad en el punto medio; por lo que la profundidad puede ser un factor determinante en la distribución y abundancia de ostrácodos.

El lago presenta estratificación durante el mes de julio (época de lluvias), con una termoclina de los 5 a los 10 m. Es un lago mesotrófico por la transparencia del lago que es de 2 m Secchi y el contenido de clorofila (8.3 mg/m^3), con una composición química de dominancia por HCO_3^- , Ca^+ y Mg^{+2} , clasificándolo con una productividad alta. Además de poseer valores bajos de sólidos disueltos totales (0.2 g/L), baja conductividad ($267 \text{ } \mu\text{S/cm}$) y un pH alcalino (7.8) en la estación de lluvias (Díaz *et al.*, 2017).

Garibay (2018) analizó a nivel local en sedimentos actuales tomados con draga (5, 7, 25 y 30 m) de los años 2015 y 2016, la diversidad de amebas testadas y su relación con las variables ambientales en seis lagos de Selva Lacandona, incluyendo al lago Ocotálito. En este encontró una riqueza específica baja y las especies: *Centropyxis aculeata* var. "aculeata", *Arcella discoïdes*, *Centropyxis constricta* var. "aerophila", *Diffflugia oblonga* var. "oblonga", *Centropyxis aculeata* var. "discoïdes", *Diffflugia oblonga* var. "spinosa", *Diffflugia bidens*, *Cucurbitella tricuspis*, *Arcella megastoma* y solo un ejemplar de *Medilus corona*, *Diffflugia globula* y *Diffflugia urceolata* var. "urceolata". Obtuvo que las variables más influyentes sobre la distribución de las especies de amebas son la concentración de oxígeno disuelto y la profundidad.

Franco en el 2014, realizó un estudio paleoambiental del lago Ocotálito, a partir de la obtención de un núcleo de sedimento recuperando la historia de aproximadamente 10,000 años. Con ello detalló las dinámicas del clima, a partir del análisis de susceptibilidad magnética y la geoquímica elemental de sedimentos las dinámicas del clima, identificando dos importantes transiciones de condiciones húmedas y secas durante el Holoceno, esto influenciado por la interacción entre la atmósfera y el océano, así como la migración de norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Además, a través de un análisis palinológico, estudio de la estructura de las comunidades vegetales, llegando a la conclusión que a través del periodo de alrededor de 9,000 a 500AP la vegetación fue altamente dinámica con recambios ecológicos y conformándose a una comunidad más estable hacia el presente.

Laguna de Bacalar

Entre los pocos estudios que hay para la laguna de Bacalar, se encuentran trabajos en los cuales se incluye información sobre algunos bioindicadores; tal es el caso del estudio de Siqueiros *et al.* (2013), en el cual se reporta la diversidad de diatomeas epilíticas con un total de 68 especies siendo la especie *Denticula elegans* la dominante. En este estudio se

argumenta que las diatomeas epilíticas son buenas indicadoras de la calidad del agua, y que, de acuerdo con las especies registradas en dicho trabajo, se concluye que el sitio presenta condiciones no alteradas o de bajo impacto antropogénico, sin embargo, se sugiere determinar frecuencia y abundancia de las especies ampliamente distribuidas para confirmar esta aseveración. Además, relacionan la presencia de la especie *Amphora sulcata* (considerada de ambientes marinos), con las elevadas concentraciones de carbonatos en la laguna.

En la región de la península de Yucatán, Pérez *et al.* (2013), encontraron que las variables: conductividad, precipitación y estado trófico del cuerpo lacustre, son importantes en la distribución de cladóceros, ostrácodos y diatomeas; mientras que para los quironómidos el bicarbonato y el estado trófico controlan su distribución. Específicamente, las especies de quironómidos que halló en la laguna de Bacalar son *Polypedilum* sp., *Dicrotendipes* sp., *Cladopelma* sp., *Paratanytarsus* sp., *Cladotanytarsus* sp., *Coelotanypus/Clinotanypus*, *Parachironomus* sp., *Goeldochironomus* sp., *Chironomus anthracinus*, *Beardius* sp., *Tanytarsini* D, *Procladius* sp. y *Ablabesmya* sp. Las especies de cladóceros son *Ceriodaphnia* cf. *rigaudi*, *Macrothrix elegans*, *Kurzia polyspina* y *Karualuna muelleri* las cuales son muy sensibles a los cambios en el estado trófico; y las especies de ostrácodos fueron *Limnocythere floridensis*, *Cytheridella ilosvayi*, *Heterocypris punctata*, *Cypridopsis okeechobei*, *Pseudocandona* sp. y *Physocypris* cf. *denticulata*. Por otro lado, Charqueño (2017), estudió las comunidades actuales de ostrácodos y cladóceros en lagos del sureste de Quintana Roo, y para la laguna de Bacalar encontró las siguientes especies de ostrácodos: *Cypridopsis vidua*, *Darwinula stevensoni*, *Perissocytheridae cribosa*, *Cytheridella ilosvayi* y *Paracythereis opesta* y resaltó que obtuvo ausencia de cladóceros en la laguna. Además, concluyó que *Heterocypris putei* y *Cypris petenensis* son especies que se relacionan con sitios que presentan alto contenido de carbonatos y *Limnocythere floridensis* se relacionó con el alto contenido de sodio.

En el sitio se presenta una alta actividad de agricultura y ganadería, tuberías de desagüe que desembocan en la laguna, así como basureros aledaños al cuerpo de agua y dentro de él; por lo cual LaBuhn y colaboradores en el 2012 reportan un estudio preliminar acerca de las comunidades microbianas coliformes en el sitio. En dicho estudio se encontraron altas concentraciones de *E. coli* en zonas más cercanas al poblado de Bacalar y cerca de áreas de desarrollo, como hoteles. Sin embargo, se trata de una laguna de tipo oligotrófica en la cual hay presencia de estromatolitos y trombolitos que

datan del Holoceno, los cuales se encuentran comúnmente en lagunas hipersalinas (Sánchez *et al.*, 2015). La laguna presenta un ciclo de oxígeno disuelto, en el cual las concentraciones difieren más de 1 ppm entre el día y la noche (LaBuhn *et al.*, 2012).

4. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas lacustres estudiados representan un recurso importante para las distintas comunidades cercanas a ellos, ya que estos lagos tienen importancia económica tanto regional como local, histórica y recreativa, además de representar ecosistemas con una importancia ecológica y biológica intrínseca, lo que justifica cualquier tipo de estudios que permitan caracterizarlos y comprenderlos más ampliamente.

Tanto Ocotitalito como Bacalar brindan diferentes servicios ecosistémicos para habitantes locales y regionales e incluso extranjeros; dado que ambos cuerpos de agua son destinos recreativos de importancia en el sureste de México. A pesar que el lago Ocotitalito en la Selva Lacandona es un lago más remoto que la laguna de Bacalar y cuenta con protección legal en parte de su cuenca, el impacto humano se ha hecho notable. Por otro lado Bacalar es un importante sitio turístico reconocido a nivel nacional e internacional, con un creciente número de servicios turísticos. En ambos, además del turismo, se desarrollan actividades como la agricultura que frecuentemente se asocia con deforestación, que también puede ser un factor importante que puede llegar a impactar estos lagos. Estas actividades pueden llegar a generar cambios en los sistemas lacustres y en las comunidades que los habitan. Existen pocos estudios de tipo biológico y ecológico en estos sitios que permitan documentar su condición actual y mucho menos estimar la intensidad del impacto humano en ellos, por lo que investigaciones que brinden información sobre su condición actual son sumamente importantes e indispensables para el establecimiento de futuras estrategias de conservación y manejo. Los estudios que combinan múltiples indicadores ambientales como biológicos y no-biológicos (Pérez *et al.*, 2013), son más robustos y facilitan las interpretaciones ambientales y la percepción del efecto que tienen los impactos naturales y humanos sobre los ecosistemas. Por ello en el presente estudio se analizan cuatro grupos taxonómicos como indicadores biológicos (amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos), además de indicadores no biológicos (concentraciones de clorofila, química del agua, geoquímica elemental y granulometría de sedimentos) en los cuerpos de agua Ocotitalito y Bacalar.

Finalmente, este estudio, también proveerá información útil de indicadores biológicos y no biológicos, antes mencionados, para futuras reconstrucciones paleoambientales locales y regionales. Debido a que dichas investigaciones requieren del conocimiento de las preferencias ecológicas actuales, así como el entendimiento del comportamiento de los factores no bióticos que permita conocer la dinámica hidrológica de cada cuerpo de agua.

5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1.- ¿Cuáles son las variables ambientales más importantes que determinan la distribución y diversidad de las especies de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos en el lago Ocotitalito (Chiapas) y la laguna de Bacalar (Quinta Roo)?
- 2.- ¿Cómo es la variabilidad entre los sitios de muestreo de cada cuerpo de agua y entre ellos respecto a los ensamblajes ecológicos de las especies?

6. OBJETIVOS

Objetivo general

- I. Analizar aspectos ecológicos locales de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos en el lago Ocotitalito (Chiapas) y la laguna de Bacalar (Quintana Roo), comparando entre sitios de muestreo de cada cuerpo de agua y entre ellos.

Objetivos particulares

- I. Determinar la diversidad de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos, en los diferentes sitios de muestreo dentro de estos dos cuerpos de agua impactados.
- II. Caracterizar las condiciones limnológicas de estos dos cuerpos de agua, a partir de parámetros ambientales medidos *in situ*, composición química del agua, clorofila-a en agua, geoquímica elemental y granulometría de sedimentos superficiales.
- III. Comparar la distribución de los indicadores acuáticos de acuerdo con las variables ambientales y preferencias ecológicas, entre los diferentes sitios de muestreo de cada cuerpo de agua y entre ellos.

7. ÁREA DE ESTUDIO

7.1 Lago Ocotitalito

El lago Ocotitalito se encuentra a 16°57'N y 91°6'O (Fig.1) dentro de la porción noreste de la Selva Lacandona, en el municipio de Ocosingo, dentro del estado de Chiapas. Es un lago mesotrófico, con aguas dominadas por los iones: Mg^{2+} , Ca^{2+} , CO_3^{2-} y HCO_3^- . Sus aguas profundas son anóxicas y la temperatura media anual del agua superficial es de 25.4°C (Díaz *et al.*, 2017). Las variables físicas y químicas del lago se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2.- Datos físicos y químicos del lago Ocotitalito. Los datos de altitud, profundidad, conductividad y vegetación dominante fueron obtenidos de Díaz (2015); y el clima, precipitación y temperatura de Franco-Gaviria (2014).

Parámetros ambientales de lago Ocotitalito	
Altitud	920 m.s.n.m.
Conductividad	216 $\mu S/cm$
Área de la superficie	400 m^2
Profundidad máxima	26 m
pH	Neutral-alkalino (de 6 a 8)
Vegetación dominante	Bosque tropical, mesófilo de montaña, pino-roble y vegetación secundaria en las partes más altas
Clima	Cálido sub-húmedo. Aw (tropical lluvioso, con lluvias en verano)
Precipitación media anual	1,862 mm
Temperatura promedio anual	21.8°C

En el área se localizan expuestas formaciones del Cretácico Superior, las cuales están constituidas por calizas, arcillas y dolomíticas. Las rocas sedimentarias detríticas en la zona se originaron durante el Eoceno, debido a la cementación de diferentes detritos de las rocas preexistentes en el área (Díaz, 2015).

Por otro lado, el cuerpo lacustre está compartido entre el Área de Protección de Flora y Fauna Nahá y Metzabok (declarada el 28 de noviembre de 2003) y el ejido Villa de las Rosas. En los márgenes de este lago se encuentra una carretera, y la parte sur del lago que pertenece al ejido, presenta áreas altamente deforestadas.

El lago Ocotitalito forma parte del sistema lagunar de Nahá, que se compone de nueve lagunas, de las cuales Ocotitalito abarca una superficie de 7.41 ha de las 59.67 ha que abarca la superficie total del área de protección. También, forma parte de la subcuenca del río Lacantúm y colinda con el río Lacanjá. Este lago se conecta tanto con el lago Nahá como con el sistema lagunario de Metzabok a través del río Nahá.

La calidad del agua es aceptable debido a las pocas fuentes de contaminación (FIR, 2005). Dentro de los criterios más importantes que se tienen para declarar la zona sitio RAMSAR, es la presencia de diferentes especies en peligro de extinción según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001.

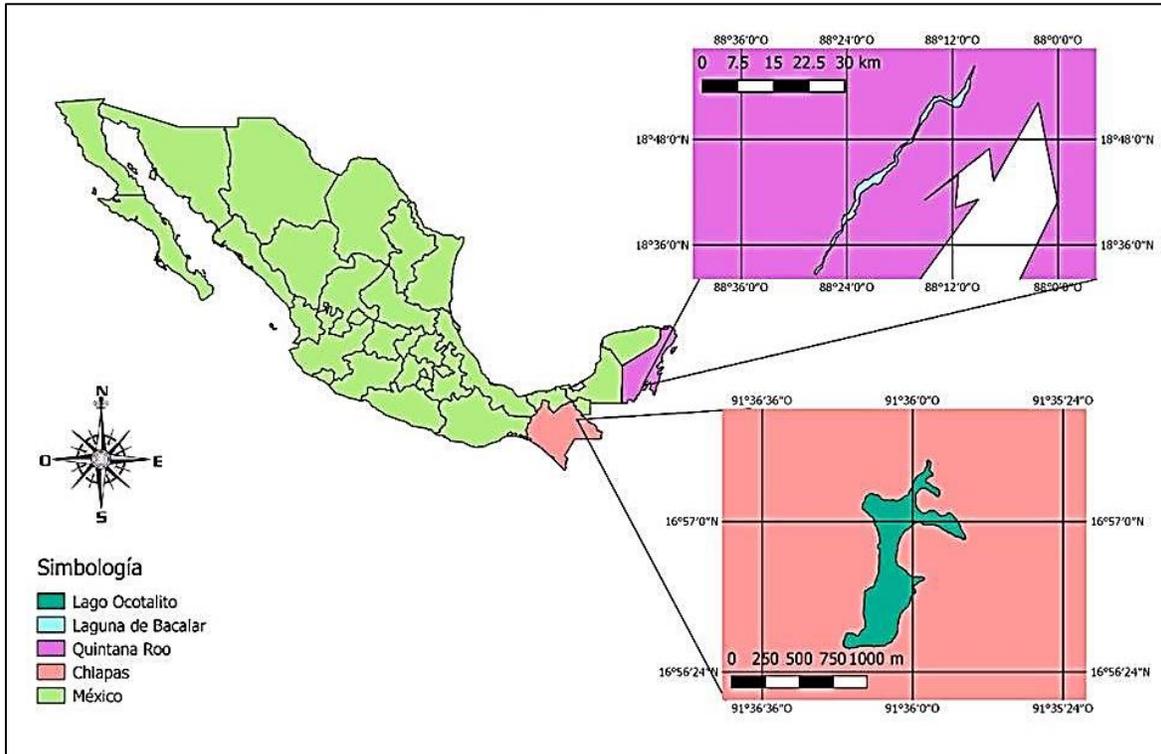


Figura 1.- Ubicación geográfica de los cuerpos de agua de este estudio. Acercamiento al estado de Quintana Roo en color morado y al estado de Chiapas en color rosa; resalta en cada uno la ubicación de los lagos de estudio: laguna de Bacalar y lago Ocotitalito, respectivamente.

7.2 Laguna de Bacalar

La Laguna de Bacalar se localiza a $18^{\circ}56'N$ y $88^{\circ}18'O$ (Fig.1), es un sistema lagunar kárstico léntico de tierras bajas de agua dulce (Pérez, 2015). La laguna es físicamente estrecha y alargada. Se encuentra alimentada por una serie de manantiales kársticos procedentes de sumideros profundos circulares de la zona, a los que se les denomina cenotes (Gischler *et al.*, 2011). Las variables físicas y químicas de la laguna de Bacalar se recopilan en la Tabla 3.

Tabla 3.- Datos físicos y químicos de la laguna de Bacalar. Los datos de tamaño y profundidad fueron obtenidos de Gischler *et al.* (2011), pH por Alamilla *et al.* (2013), clima y precipitación media anual de Agenda de Competitividad Turística Bacalar (2013), temperatura y conductividad de Sánchez *et al.* (2015).

Parámetros ambientales de Laguna de Bacalar	
Altitud	30 m.s.n.m.
Conductividad	2,017 $\mu\text{S/cm}$
Área de superficie	40 km^2
Profundidad máxima	16 m
pH	Alcalino (de 8 a 9)
Vegetación dominante	Manglar
Clima	Cálido sub-húmedo. Aw (tropical lluvioso, con lluvias en verano)
Precipitación media anual	800-1,600 mm
Temperatura promedio anual	~25.6 a 26.7°C

Dentro de la geología del área, el origen de la laguna es tectónico debido a la falla de Bacalar que es la continuación norte de la falla de Río Hondo (Gischler *et al.*, 2011). En la región Bacalar-Chetumal se encuentra expuesta una secuencia de rocas que data del intervalo Mioceno Superior-Plioceno (11-2Ma.), en donde se localizan margas, yesos y cretas, con un espesor menor a 100 m, las cuales constituyen la parte inferior de la secuencia, mientras que la parte superior está constituida por coquinas y calizas, con un espesor de 20 m (Ravelo, 2006); por lo que el principal tipo de sustrato que presenta la laguna son calizas.

La laguna se localiza en la cuenca 33A Bahía de Chetumal, que forma parte de la región hidrológica RH33 “Yucatán Este” (Quintana Roo) (CONAGUA, 2012). Es una laguna oligotrófica con manchones de vegetación sumergida ampliamente distribuidos en el contorno del cuerpo lacustre (Alamilla *et al.*, 2013).

En comparación con regiones como Cancún y Playa del Carmen dentro del estado de Quintana Roo, Bacalar tiene un desarrollo de turismo medio (Medina-Moreno, *et al.*, 2014). Este sitio no posee algún título de protección legal; sin embargo autoridades estatales y municipales de la región junto con asociaciones civiles pretenden volver a la laguna de Bacalar un sitio RAMSAR (Martín, 2015). Desde el aumento en el turismo del área, manifestado a través del incremento en la construcción de hoteles y el crecimiento en la ocupación (del 34.20% en el 2008 a 46.30% en el 2013) (Agenda de Competitividad Turística Bacalar, 2013); los locatarios han reportado cambios en la coloración del agua de tonalidades azules a verdes en los últimos años (Ortiz, 2018).

8 METODOLOGÍA

8.1 Trabajo de campo

El muestreo se realizó en marzo de 2017. Se muestrearon 9 puntos litorales (3 en lago Ocotitalito y 6 en la laguna de Bacalar) de diferentes sitios dentro de tres zonas de cada cuerpo de agua. Por cada punto litoral se tomaron muestras de agua y de sedimentos superficiales.

En el lago Ocotitalito se seleccionaron tres puntos litorales de muestreo, como se muestra en la Figura 2. Los puntos noroeste (ONO) y noreste (ONE) se encuentran dentro del área natural protegida (ANP) y el punto sureste (OSE) se encuentra fuera de la zona protegida y es parte del ejido Villa de las Rosas (Tabla 4).

Tabla 4.- Caracterización del entorno de los litorales muestreados.

Lago	Zona	Litoral	Código	Descripción
Ocotitalito	Norte	oeste	ONO	Sitio cercano a la carretera que rodea el margen noroeste del lago. Sin litoral marcado. Presencia de rocas y arenas. Zona dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nahá y Metzabok (Fig.15 en anexo II).
Ocotitalito	Norte	este	ONE	Sitio ubicado en el margen noreste del lago rodeado de vegetación. Litoral bien marcado. Presencia excesiva de la planta acuática <i>Myriophyllum</i> . Zona dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nahá y Metzabok (Fig.15 en anexo II).
Ocotitalito	Sur	este	OSE	Sitio cercano a la parte más deforestada en el contorno del lago. Presencia de erosión. Zona dentro del ejido Villa de las Rosas (Fig.15 en anexo II).
Bacalar	Norte 1	oeste	BNO	Sitio ubicado en terrenos en vía de conservación, cercano al municipio de Buenavista. Presencia de vegetación no propia del lugar como palmeras y manchones de vegetación quemada. Área de fácil acceso, próximo a la carretera Chetumal-Cancún (Fig.16 en anexo III).
Bacalar	Norte 2	este	BNE	Sitio alejado de asentamientos humanos. El acceso es únicamente a través de lancha cruzando transversalmente la laguna. Presencia media de mangle (Fig.16 en anexo III).
Bacalar	Centro 3	oeste	BCO	Sitio ubicado en el margen del hotel Bacalar donde se encuentra el acceso a la población para actividades recreativas en la laguna (paseos en lancha y natación) (Fig.16 en anexo III).
Bacalar	Centro 4	este	BCE	Sitio localizado en la parte denominada laguna Mariscal, cuyo acceso es por medio de lancha. Los alrededores se encuentran bordeados por vegetación, principalmente mangle (Fig.16 en anexo III).
Bacalar	Sur 5	oeste	BSO	Sitio de muestreo en el balneario público de Bacalar denominado Cocalitos, en donde el afluente turístico es muy grande (Fig.16 en anexo III).
Bacalar	Sur 6	este	BSE	Sitio localizado en la parte llamada "Los rápidos". Acceso a partir de lancha. Es la parte más conservada de la laguna según los pobladores y es donde se encuentra el mayor número de estromatolitos (Fig.16 en anexo III).

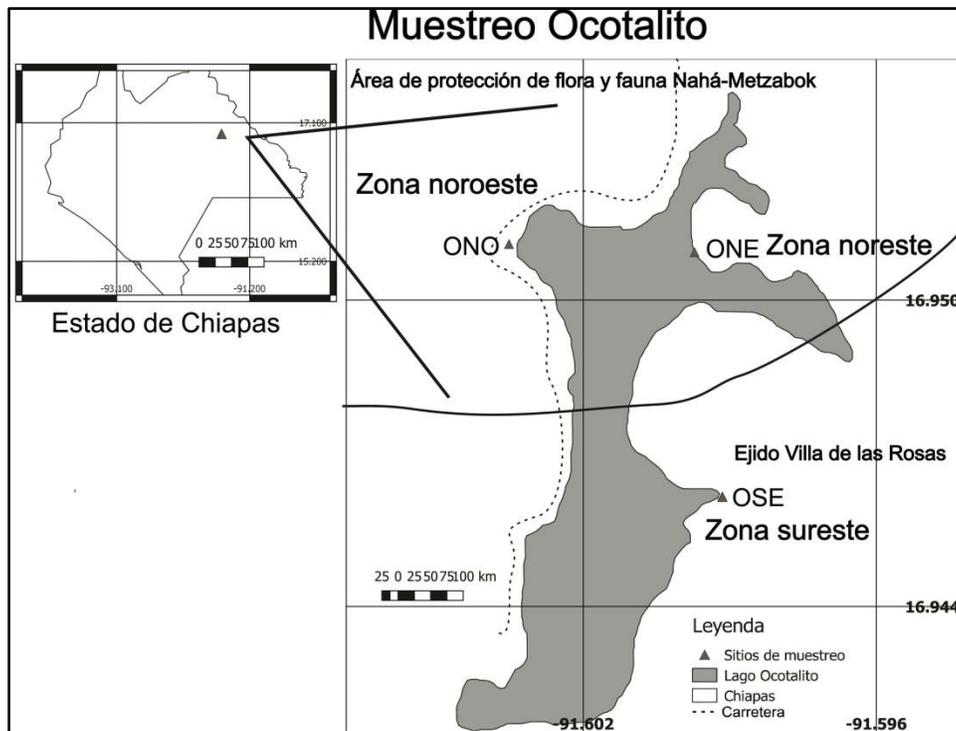


Figura 2.- Sitios de muestreo de las tres zonas en el litoral del lago Ocotitalito. Se muestran los sitios de muestreo (triángulos) ONO, ONE y OSE, la línea negra que atraviesa el lago representa la parte norte que pertenece a el área natural protegida y la del sur al ejido Villa de las Rosas. La línea punteada representa la carretera que pasa por el margen oeste del lago. Los códigos de los sitios se encuentran en la Tabla 4. Elaboración propia en el programa QGIS, 2018.

En la laguna de Bacalar se tomaron seis muestras distribuidas en la zona litoral norte, centro y sur de esta, como se muestra en la Figura 3. Los puntos litorales de muestreo correspondientes a la zona norte en el municipio de Buenavista fueron seleccionados uno del lado este (BNE) y otro del lado oeste (BNO). Luego hacia la zona centro, cerca del municipio de Bacalar, es decir del lado oeste de la laguna se seleccionó el punto litoral BCO y de manera paralela del lado este en la denominada laguna Mariscal conectada con la laguna de Bacalar por el “Canal de los Piratas” se tomó el punto BCE. Por último, hacia la zona sur de la laguna del lado oeste se tomó el litoral BSO punto de muestreo ubicado en el balneario local denominado “Cocalitos” y el sitio denominado BSE es el punto de muestreo más al sur de la laguna el cual se tomó del lado este.

La descripción de cada sitio de muestreo para ambos cuerpos de agua se encuentra en la Tabla 4.

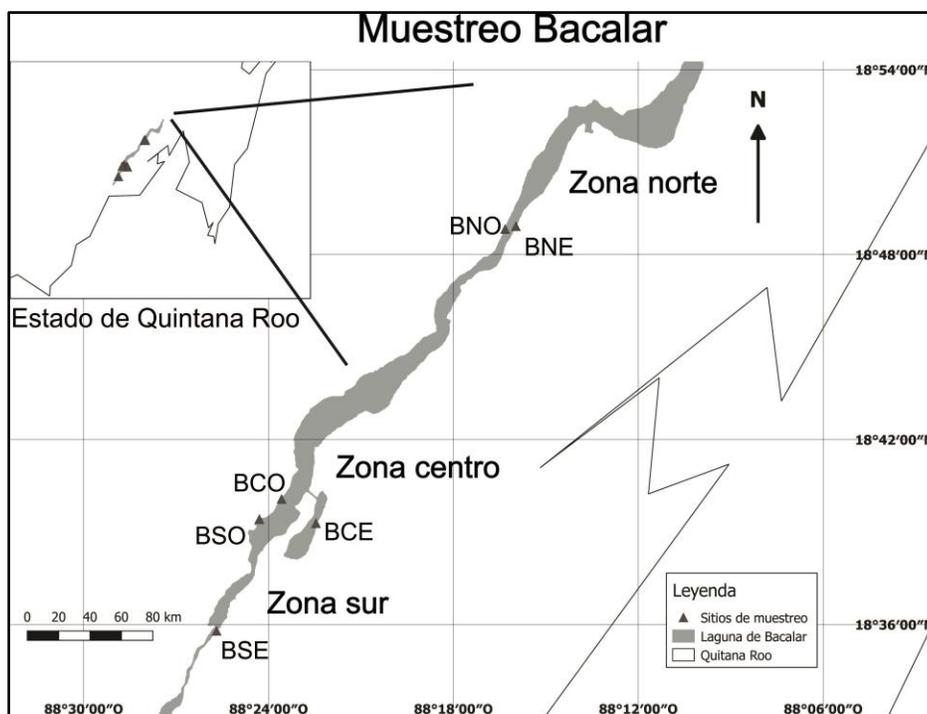


Figura 3.- Sitios de muestreo en las tres zonas a lo largo del litoral de la laguna de Bacalar: zona norte, centro y sur, en donde por cada zona se tomaron dos sitios de muestreo uno del lado este y el otro del lado oeste. Estos sitios BNO, BNE, BCO, BCE, BSO y BSE están representados por triángulos. Los códigos de los puntos señalados en este mapa se encuentran en la Tabla 4. Elaboración propia en el programa QGIS, 2018.

En cada sitio de muestreo se midieron parámetros ambientales *in situ* que fueron: temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, con una sonda multiparamétrica marca YSI (Yellowstone Scientific Instruments), modelo EXO I. En cada sitio se colectaron dos muestras de agua en botellas de 1 L, para determinar la concentración de iones y clorofila. Las muestras de agua para la cuantificación de clorofila, se filtraron con una bomba de vacío, a través de filtros de microfibras de vidrio marca Whatman™ con apertura de poro de 0.7 μm y un diámetro de 47 mm. Los filtros obtenidos se mantuvieron bajo condiciones de oscuridad y en congelación, preservados en papel aluminio, hasta su análisis en el laboratorio. Por otro lado, las muestras de agua para análisis de iones se filtraron por una membrana de 0.45 μm y se dividieron en dos fracciones, y una de ellas (para la determinación de cationes) se acidificó con HNO_3 a pH 2. Ambas se refrigeraron a 4°C hasta ser analizadas en el laboratorio.

Las muestras de sedimento superficial se tomaron con una red de mano de 125 μm , evitando la más mínima perturbación previa a la toma de la muestra tratando de obtener únicamente los centímetros más superficiales del sedimento. El sedimento recuperado se vació en dos frascos. El primero de 250 mL para el análisis geoquímico

y granulométrico; y el segundo de 500 mL para los bioindicadores, el cual se fijó con alcohol absoluto (99.5%) para la preservación de los organismos.

8.2 Trabajo de laboratorio

8.2.1 Análisis químico de agua

Las muestras de agua filtradas en campo para calcular la concentración de iones se llevaron a analizar al Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México a cargo del Dr. Gerardo Martínez. El análisis químico consistió en diferentes métodos analíticos, los cuales fueron: titulación potenciométrica (determinación de HCO_3^-), cromatografía iónica en un cromatógrafo de iones con un detector de conductividad (Metrohm 883 Basic IC Plus). Con esto se obtuvo en meq/L la cantidad de iones (Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) y cationes (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}). Además, se determinó la conductividad eléctrica (CE) con un conductímetro marca OAKTON modelo CON-700, calibrado con un material de referencia de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Y por último, la determinación del pH con un potenciómetro marca Denver Instrument Ultrabasic UB-10, calibrado a tres puntos pH=4.0, 7.0 y 10.0 a 25°C.

8.2.2 Clorofila

La cuantificación del contenido de clorofila, se realizó en el laboratorio de limnología de la FES Iztacala a cargo del Dr. Javier Alcocer. Los filtros obtenidos en campo se maceraron hasta su desintegración, agregando 10 mL de acetona al 90%. Una vez macerados, las muestras se centrifugaron a 2500 r.p.m. durante 15 minutos. Al sacarlas de la centrifuga se tomó 1 μL de esta solución y 7 μL de acetona al 90%, obteniendo una dilución 1:7; se mezcló y se procedió a la lectura en un fluorómetro digital marca Turner Desings modelo 10 AU. Para obtener el valor de la concentración se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Clor} - a = \frac{(C_e V_e FD)}{V_m}$$

donde:

Clor-a es la concentración de clorofila "a" ($\mu\text{g}/\text{L}$)

C_e es la concentración de clorofila "a" obtenida de la solución extraída

V_e es el volumen en L utilizado para la extracción

FD es el factor de dilución

V_m el volumen en L de la muestra

8.2.3 Geoquímica elemental de sedimentos

De la muestra de sedimento del frasco de 125 mL, se tomaron 10 cm³ para analizar la geoquímica elemental. Estas submuestras se secaron en un horno a 105°C durante 24h, siguiendo el método de Heiri *et al.* (2001). Una vez secas las muestras se molieron finamente con un mortero de Agatha. Posteriormente, se procedió con la medición de elementos en el sedimento. Esto se realizó en el Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM a través de Fluorescencia de Rayos X (FRX) con una pistola NITON XL3t Ultra de la marca Thermo Scientific, a partir del método de referencia US-EPA 6200. Este método consistió en la emisión de Rayos X, el cual a partir de la radiación electromagnética se excitan los átomos, la pistola detecta y cuantifica los elementos traza en partes por millón (ppm) y los elementos mayores en porcentaje. Se realizaron 3 lecturas por 90 segundos de cada muestra. Los elementos que se midieron fueron: elementos traza (Zr, Sr, Rb, Pb, As, Zn, Ti, Mn, Cu y Mo en ppm) y elementos mayores (Ca y Fe en %).

8.2.4 Granulometría de sedimentos superficiales

El análisis granulométrico del sedimento superficial se realizó en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el laboratorio de Sedimentología Marina a cargo del Dr. Antonio Zoilo Márquez García. Se llevó a cabo mediante las técnicas del método de pipeta propuestas en Secretaría de Marina (1998). Procedimiento que consiste en calcular las velocidades de sedimentación a partir de la ley de Stokes. Para calcularlas se tomó una submuestra o alícuota con una pipeta volumétrica de 20 mL, a determinada profundidad y tiempo (Secretaría de Marina, 1998). Posterior a esto se secaron y pesaron, permitiendo obtener el porcentaje de arenas, limos y arcillas. La nomenclatura de los sedimentos se clasificó mediante el diagrama ternario de Shepard (1954).

8.2.5 Bioindicadores

A partir de las muestras de sedimento fijadas con alcohol etílico absoluto, se midieron 2.5 cm³ de cada muestra. Consecutivamente, se tamizó el sedimento a una luz de malla de 63 µm, revisando la fracción mayor bajo un microscopio estereoscópico Olympus SZX7. Luego, se separaron, identificaron y contabilizaron los organismos encontrados de

amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos. Para fijar a las amebas testadas y cladóceros se utilizó glicerina; para los quironómidos se aplicó Hydromatrix® y en el caso de los ostrácodos los caparazones y valvas se mantuvieron en placas micropaleontológicas, mientras que los organismos con partes blandas se preservaron en viales con alcohol absoluto.

Para la identificación taxonómica de las especies se usaron guías especializadas en cada grupo (Tabla 5).

Tabla 5.- Guías de identificación taxonómica por grupo que se utilizaron en este estudio.

Amebas testadas	Cladóceros	Ostrácodos	Quironómidos
Deflandre, 1929; Ogden y Hedley, 1980 Reinhardt <i>et al.</i> , 1998;	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> , 2008	Furtos, 1936; Karanovic, 2012	Ruíz-Moreno <i>et al.</i> , 2000; Epler, 2001;

Es preciso resaltar que para el caso de las amebas testadas, debido a la alta plasticidad fenotípica del grupo, los fenotipos caracterizados por morfologías estables se designan como variedades. Las variedades no son divisiones taxonómicas válidas de acuerdo con el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica, pero como muchas de estas morfologías infrasubespecíficas han demostrado ser ecofenotipos, su uso es de utilidad como indicadores ambientales (Patterson *et al.*, 2013; Nasser *et al.*, 2016).

Después se tomaron fotografías de las amebas testadas y ostrácodos con un microscopio electrónico de barrido modelo Hitachi SU 1510 Scanning del Instituto de Biología de la UNAM, en el laboratorio de Biodiversidad a cargo de la M. en C. María Berenit. Para el caso de los cladóceros y quironómidos las fotografías se tomaron en el microscopio óptico ZEISS Standard 25. Se fotografió los ejemplares completos de los cladóceros y las cápsulas cefálicas de los quironómidos.

Los valores de la abundancia de los bioindicadores se presentan en el número total de individuos por cada volumen de muestra de sedimentos revisado, obteniendo la densidad. Logrando con ello proveer los datos sin transformación matemática de ninguna índole.

8.3. Análisis de datos

-Diversidad

Se calculó la diversidad α (número de especies presentes en un sitio) considerando la abundancia total de los 46 taxones identificados mediante el índice de Shannon-Wiener

(H'). Este índice es una medida de diversidad alfa y supone que los individuos se muestrean aleatoriamente, a partir de una comunidad grande, en la que es conocido el número de especies (S) (Rocha *et al.*, 2012).

Para calcularlo se aplicó la fórmula matemática que se presenta a continuación:

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

donde:

H' = índice de Shannon-Wiener dado en unidades bits/individuo.

p_i = proporción de la especie i respecto al total de individuos en la muestra ($\frac{n_i}{N}$)

S = número total de especies en la muestra

N = número total de individuos en la muestra

El índice de diversidad (H') se incrementa con el número de especies en la comunidad y en teoría puede alcanzar valores entre 1 y 5. En la práctica para las comunidades biológicas el valor de 5 es alto y el 1 es bajo. El valor teórico máximo es el log(S) cuando N>S es el log [N/(N-S)] (Rocha *et al.*, 2012).

También se calculó la diversidad verdadera (D) que estima el “número efectivo de especies”, que puede interpretarse como el número de especies que estarían presentes en el ecosistema si todas tuvieran una abundancia equiparable (Jost, 2006). Esta conversión del índice de Shannon-Weiner facilita la interpretación de resultados y se obtuvo a partir de haber calculado el índice Shannon-Wiener (H') con la siguiente transformación matemática:

$${}^1D = \text{EXP}(H')$$

donde:

D = diversidad verdadera

EXP (H') = exponente del índice de Shannon-Wiener (H')

-Análisis estadísticos

Para definir las variables ambientales que se utilizaron en el análisis de correspondencia canónica, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) para conocer preliminarmente la importancia de las variables y la relación entre ellas (Anexo IV). El análisis se realizó con 9 muestras y las variables que se incluyeron fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (DO), cationes

(Na^+K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}), aniones ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, SO_4^{2-} y Cl^-), concentración de clorofila (Clorofila), elementos traza en sedimentos (Sr, Mn, Cu, Zr, Zn, Rb, Mo, Ti, As y Pb) y elementos mayores en sedimentos (Ca y Fe), arenas, limos y arcillas. Este análisis se llevó a cabo con el software R-Project (R Core Team, 2018) utilizando la paquetería vegan (Oksanen *et al.*, 2018).

Con base a la identificación de las variables ambientales más explicativas del PCA y conocimiento previo basado en la literatura, se realizó el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA, por sus siglas en inglés), para examinar las relaciones entre taxones de cada uno de los cuatro grupos de bioindicadores y las variables ambientales por cuerpo de agua; permitiendo visualizar en un diagrama de dispersión la ordenación estadística de los sitios, de los taxones y de las variables ambientales (como vectores). El análisis se generó en el programa R-Project (R Core Team, 2018), con la paquetería vegan (Oksanen *et al.*, 2018). El CCA se obtuvo a partir de la información biológica (abundancia total de las especies por sitio en ind./2.5cm³) y las variables ambientales de los 9 sitios de muestreo. Las variables ambientales consideradas fueron: temperatura, oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica (CE), iones y algunos elementos de la geoquímica (Ca, Sr, As, Pb y Fe).

Por último, se elaboró un análisis de conglomerados modo Q y R con 38 taxones de las 9 muestras. Este análisis agrupó en forma de cladograma a las especies con afinidades ecológicas parecidas (modo R) y los sitios más relacionados (modo Q). Este estadístico se creó utilizando el software R-Project (R Core Team, 2018), con las paqueterías vegan, mixOmics, graphics, xlsx (Oksanen *et al.*, 2018) y el programa CorelDraw X7 (Golden Software, Inc., 2016).

Cabe señalar que tanto en el CCA como el análisis de conglomerados modo Q y R, no se consideraron los taxones donde se encontraron menos de dos ejemplares en las 9 muestras, tal es el caso de: *Chlamydotheca unispinosa*, *Limnocythere floridensis*, *Vestalenula* sp., *Cypria* sp., *Arcella megastoma*, *Arcella vulgaris*, *Diffugia protaeiformis* var. "acuminata" y *Heleopera sphagni*?

9. RESULTADOS

9.1 Caracterización y comparación limnológica entre el lago Ocotitalito y la laguna de Bacalar

Los sitios de muestreo para ambos lagos fueron caracterizados de acuerdo con las variables abióticas medidas en los cuerpos lacustres, tanto parámetros *in situ* como con el análisis químico del agua (aniones y cationes), clorofila, geoquímica elemental y granulometría de sedimentos superficiales.

En la Tabla 6 se presentan los valores obtenidos de los parámetros ambientales medidos *in situ* para ambos lagos. La temperatura del agua superficial registrada en los tres diferentes litorales del lago Ocotitalito, fue relativamente homogénea, con un promedio de $24.4 \pm 0.6^\circ\text{C}$. El punto litoral que obtuvo el valor más bajo (23.9°C) fue ONO; mientras que el mayor del lago fue ONE con 25.0°C . Los valores de temperatura que tuvieron los seis litorales de la laguna de Bacalar, fueron heterogéneos con un promedio de $28.6 \pm 2.7^\circ\text{C}$. Los dos litorales del centro presentaron el valor más alto (33.8°C) en BCE y el valor más bajo (26.5°C) en BCO.

En general, los valores de pH para ambos lagos fueron ligeramente básicos. En el lago Ocotitalito los valores se mantuvieron de 8.0 en ONO a 8.5 en OSE y en la laguna de Bacalar el promedio de los valores obtenidos fue de 8.1 ± 0.2 , con el valor más alto de 8.3 en BNO y los más bajos en la zona sur de la laguna, BSO y BSE, con 7.8, para ambos sitios.

La concentración de oxígeno disuelto (OD) en los litorales del lago Ocotitalito tuvo un promedio de 6.3 ± 1.1 mg/L, con dos de los litorales con un valor muy similar de 5.6 y 5.7 mg/L en ONO y ONE, respectivamente; y el sitio con una mayor concentración fue OSE con un valor de 7.6 mg/L, y para los litorales de la laguna de Bacalar, la concentración de OD va desde 9.8 mg/L en el litoral BCE a 6.0 mg/L en BCO; el resto de los litorales muestreados oscilaron alrededor de 7.0 mg/L.

Los cuerpos de agua presentaron valores muy diferentes en conductividad (CE), con valores de 292 $\mu\text{S/cm}$ (ONO) a 321 $\mu\text{S/cm}$ (OSE), con un promedio de 304.3 ± 15 $\mu\text{S/cm}$ en el lago Ocotitalito, mientras que, en la laguna de Bacalar el promedio de los datos fue de $2,575 \pm 329.7$ $\mu\text{S/cm}$ y se presentó un gradiente con los valores máximos de CE en los litorales de la zona norte de la laguna (BNO con 2,940 $\mu\text{S/cm}$ y BNE con 2,970 $\mu\text{S/cm}$), la zona centro de la laguna se mantuvo con datos ligeramente por arriba de los

2,500 $\mu\text{S/cm}$ y la zona sur tuvo los valores más bajos con 2,370 $\mu\text{S/cm}$ en BSO y 2,120 $\mu\text{S/cm}$ BSE.

Tabla 6.- Parámetros ambientales determinados *in situ* durante el mes de marzo en el lago Ocotitalito, Selva Lacandona Chiapas y en la laguna de Bacalar, Quintana Roo.

Lago	Sitio	Coordenadas		Temp. (°C)	pH	DO (mg/L)	CE ($\mu\text{S/cm}$)
		°N	°W				
Ocotitalito	ONO	16.95110	91.60352	23.9	8.0	5.6	292
Ocotitalito	ONE	16.95094	91.59972	25.0	8.3	5.7	300
Ocotitalito	OSE	16.94602	91.59924	24.2	8.5	7.6	321
Rango (mín-máx)				23.9-25.0	8.0-8.5	5.6-7.6	292-321
Promedio\pmDS				24.4 \pm 0.6	8.3 \pm 0.3	6.3 \pm 1.1	304.3 \pm 15
Bacalar	BNO	18.81384	-88.27200	28.7	8.3	7.3	2,940
Bacalar	BNE	18.81535	-88.26613	27.2	8.1	7.1	2,970
Bacalar	BCO	18.66787	-88.39294	26.5	8.2	6.0	2,530
Bacalar	BCE	18.65477	-88.37428	33.8	8.1	9.8	2,520
Bacalar	BSO	18.65701	-88.40493	27.3	7.8	7.0	2,370
Bacalar	BSE	18.59651	-88.42805	28.1	7.8	7.5	2,120
Rango (mín-máx)				27.2-33.8	7.8-8.3	6.0-9.8	2,120-2,970
Promedio\pmDS				28.6 \pm 2.7	8.1 \pm 0.2	7.4 \pm 1.3	2,575 \pm 329.7

Por otro lado, en la Tabla 7 se describen los valores de las concentraciones de iones y clorofila para ambos sistemas lacustres. La composición química del agua varió en los dos sistemas de este estudio. Para el lago Ocotitalito el ion dominante es HCO_3^- con valores levemente por encima de 3 meq/L, en OSE se obtuvo el valor más alto con 3.23 meq/L y en ONE el valor más bajo con 3.07 meq/L. Los cationes dominantes del lago fueron el Mg^{2+} y Ca^{2+} , con valores entre 1.51 (ONE) a 1.7 (OSE) meq/L de magnesio y de 1.6 (ONE) a 1.67 (OSE) meq/L de calcio. Por otra parte, las concentraciones de Na^+ , K^+ , Cl^- y CO_3^{2-} , fueron bajas y se mantuvieron menores a 0.32 meq/L y mayores a 0.03 meq/L. Por lo anterior, las aguas del lago estuvieron dominadas por carbonatos con cantidades casi iguales de Ca y Mg, definiendo sus aguas tipo HCO_3^- : Ca^{2+} - Mg^{2+} .

En la laguna de Bacalar, la concentración de SO_4^{2-} fue dominante con valores por arriba de los 25 meq/L, el valor mínimo es de 25.55 meq/L en el litoral BSE y los valores más altos son los obtenidos en el centro de la laguna BCO y BCE con 28.78 y 28.83 meq/L, respectivamente. Los valores de Ca^{2+} van desde 17 en BNE a 20 meq/L en BCO. El ion Cl^- fue mayor en la zona norte de la laguna en BNO con 12.25 y BNE con 11.75

meq/L, y el valor menor registrado fue en la zona sur (BSE) con 1.17 meq/L. El catión Na^+ fluctuó en un rango de 1.46 a 8.55 meq/L, siendo la mayor concentración en la parte norte en los sitios BNO con 8.55 y BNE con 8.22; en cambio, la concentración menor se encontró en la zona sur (BSE) con 1.46 meq/L. Las concentraciones de Mg^{2+} son entre 6.12 y 7.87 meq/L, con los valores más altos en la zona norte de la laguna y el menor en BSE. El HCO_3^- va de 1.55 a 4.07 meq/L, el mínimo registrado en BNO y el máximo en BSE; de lo contrario las concentraciones de CO_3^{2-} varían de 0.16 meq/L en BNE a 0.72 meq/L en BCE. El ion con menor concentración fue K^+ que osciló entre 0.08 y 0.22 meq/L. Con ello se puede definir que en todos los sitios las aguas son dominadas por los sulfatos y el calcio, con menores abundancias de los otros iones entonces son aguas tipo: $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ con excepción de la parte norte en donde hay mayores concentraciones de Cl^- y Na^+ cambiando la dominancia a $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$.

Las concentraciones de clorofila (Clor-a) en ambos sistemas lacustres no variaron mucho, y los valores máximos registrados en ambos fueron de 0.49 $\mu\text{g/L}$. En el lago Ocotitalito el promedio de la concentración fue de 0.38 $\mu\text{g/L}$, con un mínimo de 0.17 en el litoral ONO, hasta un máximo de 0.49 $\mu\text{g/L}$ en el litoral ONE. En Bacalar el promedio de Clor-a fue de 0.27 $\mu\text{g/L}$, con un mínimo de concentración de 0.08 $\mu\text{g/L}$ en el litoral BCE y los valores máximos de 0.49 $\mu\text{g/L}$ en el litoral BSO y 0.37 $\mu\text{g/L}$ en el litoral BNE.

Tabla 7.- Composición química del agua (aniones y cationes) y concentración de clorofila (Clor-a) del lago Ocotitalito y de la laguna de Bacalar. Se presentan en unidades meq/L para los iones y en µg/L para la clorofila-a. Siendo <LD por debajo del límite de detección, es decir con valores detectados menores de 0.91 mg/L para SO₄²⁻.

Componentes de la columna de agua											
Sitio	Coordenadas		Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Clor-a
	°N	°W									
	Unidades		[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[µg/L]
ONO	16.9511	-91.60352	0.06	0.04	1.55	1.64	0.04	<LD	0.24	3.11	0.17
ONE	16.95094	-91.59972	0.05	0.04	1.51	1.60	0.05	<LD	0.24	3.07	0.49
OSE	16.94602	-91.59924	0.06	0.03	1.70	1.67	0.05	<LD	0.32	3.23	0.48
BNO	18.81384	-88.272	8.55	0.22	7.87	17.2	12.25	27.77	0.36	1.55	0.31
BNE	18.81535	-88.26613	8.22	0.21	7.71	17.0	11.75	27.43	0.16	1.75	0.37
BCO	18.66787	-88.39294	2.52	0.10	6.84	20.0	2.57	28.78	0.32	3.59	0.24
BCE	18.65477	-88.37428	4.01	0.14	7.22	18.3	4.86	28.83	0.72	1.87	0.08
BSO	18.65701	-88.40493	2.80	0.11	6.94	18.7	2.99	28.07	0.24	3.27	0.49
BSE	18.59651	-88.42805	1.46	0.08	6.12	18.5	1.17	25.55	0.24	4.07	0.11

En la Tabla 8 y 9 se presentan los datos de geoquímica y granulometría de sedimentos superficiales, respectivamente, para los dos cuerpos de agua de este estudio. En el lago Ocotitalo los elementos con mayor concentración fue el Ca (calcio) con valores entre 3.87% a 16.85%, seguido del Fe (hierro) con un registro entre 0.5% a 4.31%. El Ti (titanio) presentó un valor mínimo de 479.35 ppm en ONO y un máximo de 4618.53 ppm en OSE; otro de los elementos presentes fue el Sr (estroncio), con valores en un rango de 64.68 ppm a 134.24, en los litorales OSE y ONE, respectivamente. La presencia de Fe (hierro) y Ca (calcio) en los sedimentos del lago fueron valores entre 0.5% a 4.31% y 3.87% a 16.85%, respectivamente. Se detectó la presencia de As (arsénico) en las muestras de lago, con un valor mínimo de 38.03 ppm en ONE y un máximo de 76.54 ppm en el litoral OSE. Además, de registrar 3 elementos únicamente en dos de los tres litorales muestreados del lago, estos litorales corresponden a ONE y OSE, con valores de Pb (plomo) de 10.26 ppm y 12.85 ppm, de Cu (cobre) de 47.42 y 19.53 y Mn (manganeso) de 138.05 y 148.74 ppm.

En la laguna de Bacalar el elemento con mayores concentraciones fue el Sr con valores de 2,405.71 ppm (litoral BCO) a 1,872.49 (litoral BNO). Seguido de este elemento, otro elemento con mayores concentraciones fue el Ca con un valor mínimo de 32.25% (litoral BNO) y un valor máximo de 41.04% (litoral BSE). El Fe se mantuvo con valores muy bajos a lo largo de la laguna con un valores entre 0.02% en los litorales BNE y BCE y un valor máximo de 0.21% en el litoral BSO. El elemento Mn (manganeso) se registró únicamente en el litoral BCE con 94.61 ppm.

En cuanto a su granulometría, de acuerdo a la nomenclatura del diagrama ternario de Shepard (1954) (Fig. 4), los sedimentos de los litorales de ambos cuerpos de agua son arenas. En el lago Ocotitalo el litoral ONE obtuvo un mayor porcentaje de arena con 91.30%, 1.31% de limo y un 7.38% de arcilla; y el litoral con un menor porcentaje de arena fue en el litoral OSE con 82.82%, 5.21% de limo y 11.98% de arcilla (Tabla 9). Para Bacalar, en la zona norte se detectó un mayor porcentaje de arena, en BNO con 92.72%, 2.58% de limo y 4.70% de arcilla; mientras que para la zona centro fue el litoral BCO con mayor porcentaje de arena con 93.83%, 1.87% de limo y 4.30% de arcilla; por ultimo en la zona sur el litoral BSO es el que tiene un porcentaje de arena superior con 91.80%, 0.62% de limo y 7.58% de arcilla

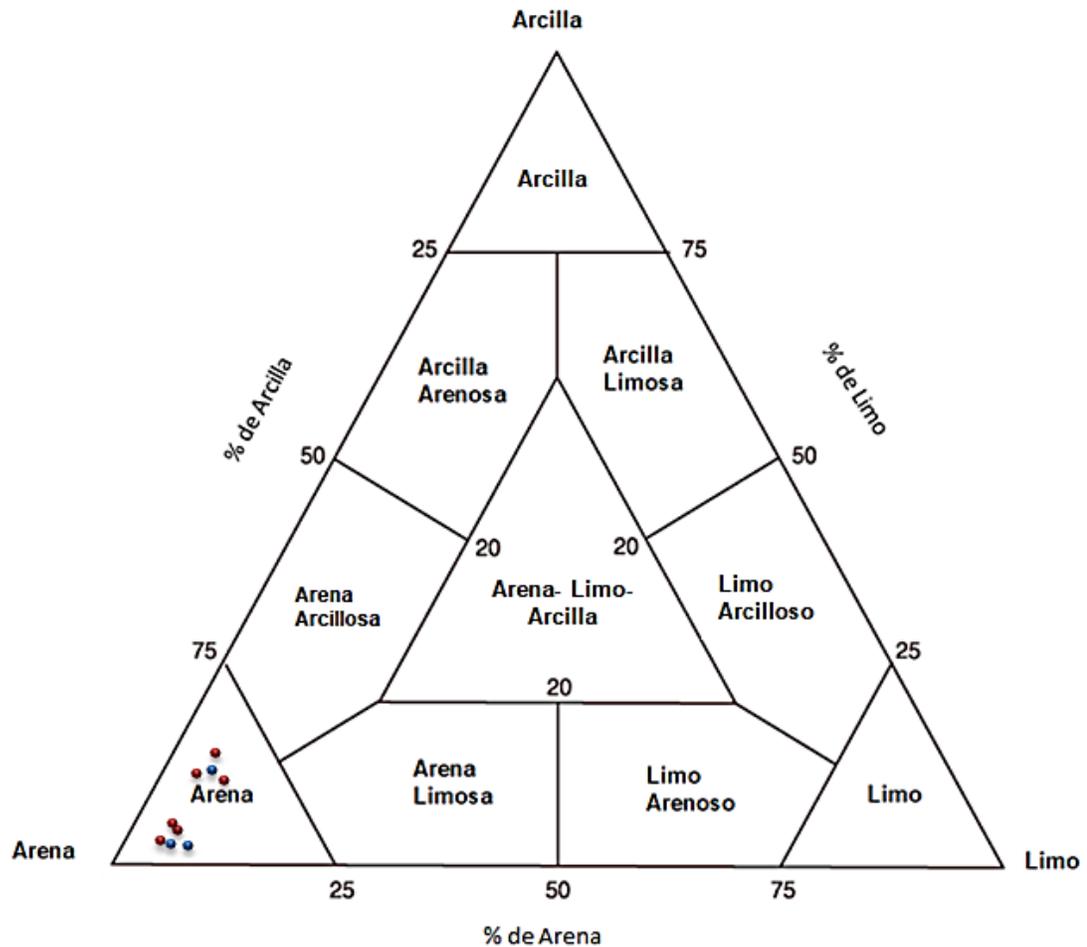


Figura 4.- Diagrama ternario de Shepard (1954). Se coloraron puntos azules y rojos de acuerdo a los porcentajes obtenidos de arenas, limos y arcillas de sedimentos de los litorales muestreados. Los puntos de color azul pertenecen a los litorales de la lago Ocotlito y los puntos de color rojo a los litorales de la laguna de Bacalar.

Por otro lado, con el análisis de componentes principales (PCA) se determinaron las variables ambientales que caracterizan los litorales muestreados. Los dos primeros componentes explican el 60% del total de la varianza de los datos. El primer componente (CP1), explica un 59% de la varianza y el segundo componente (CP2), explica el 11% del total de la varianza (Fig.11 en anexo I).

Tabla 8.- Geoquímica elemental de sedimentos superficiales del lago Ocotitalito y de la laguna de Bacalar. Las unidades de la cuantificación se presentan en ppm para elementos traza y en % para elementos mayores. <LD por debajo del límite de detección.

Geoquímica elemental de sedimentos superficiales												
Lago	Sitio	Zr (ppm)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)	Zn (ppm)	Fe (%)	Ti (ppm)	Ca (%)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
	LD	15	11	10	5	11	25	0.01	160	0.05	85	35
Ocotitalito	ONO	33.96	98.96	11.66	<LD	<LD	<LD	0.50	479.35	16.85	<LD	<LD
Ocotitalito	ONE	149.13	134.24	36.80	10.26	38.03	72.57	2.79	3,789.47	3.87	138.05	47.42
Ocotitalito	OSE	185.67	64.68	<LD	12.85	76.54	55.80	4.31	4,618.53	5.59	148.74	<LD
Bacalar	BNO	<LD	1,872.49	<LD	<LD	<LD	<LD	0.16	<LD	32.25	<LD	<LD
Bacalar	BNE	<LD	1,895.32	<LD	<LD	<LD	<LD	0.02	<LD	37.29	<LD	<LD
Bacalar	BCO	<LD	2,405.71	<LD	<LD	<LD	<LD	0.05	<LD	34.88	<LD	<LD
Bacalar	BCE	<LD	1,919.96	<LD	<LD	<LD	<LD	0.02	<LD	38.88	94.61	<LD
Bacalar	BSO	<LD	1,880.88	<LD	<LD	<LD	<LD	0.21	<LD	33.64	<LD	<LD
Bacalar	BSE	<LD	2,060.35	<LD	<LD	<LD	<LD	0.03	<LD	41.04	<LD	<LD

Tabla 9.- Granulometría de sedimentos superficiales del lago Ocotitalito y de la laguna de Bacalar. Se muestra en % el contenido de arenas, limos y arcillas. En la última columna se presenta la nomenclatura de los sedimentos superficiales de los litorales muestreados para ambos lagos.

Granulometría de sedimentos					
Lago	Sitio	% arena	% limo	% arcilla	Nomenclatura
Ocotitalito	ONO	83.96	10.65	5.40	Arena
Ocotitalito	ONE	91.30	1.31	7.38	Arena
Ocotitalito	OSE	82.82	5.21	11.98	Arena
Bacalar	BNO	92.72	2.58	4.70	Arena
Bacalar	BNE	83.98	9.54	6.48	Arena
Bacalar	BCO	93.83	1.87	4.30	Arena
Bacalar	BCE	89.39	6.76	3.86	Arena
Bacalar	BSO	91.80	0.62	7.58	Arena
Bacalar	BSE	84.40	7.43	8.17	Arena

A partir del CP1 se diferencian los sitios del lago Ocotitalito (valores negativos) y los sitios de la laguna de Bacalar (valores positivos). La ordenación de los sitios del lago Ocotitalito, están relacionados con los elementos de la geoquímica de los sedimentos superficiales (excepto el Ca y Sr), la clorofila y las arcillas. En cambio los sitios de la laguna de Bacalar están asociados a la concentración de iones, temperatura, CE, DO y los elementos de la geoquímica Ca y Sr. Es decir, para el lago Ocotitalito de acuerdo a la ordenación de este análisis de componentes principales los elementos medidos en sedimentos (vectores en negritas) parecen que están definiendo los litorales, mientras que para la laguna de Bacalar las variables medidas en agua son las que influyen más en la diferenciación de los litorales tomados (Fig.11 en anexo I).

El PCA evidencia que As, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, Rb, Ti, Zn, Zr, elementos de geoquímica y clorofila se encuentran correlacionados. Sin embargo, la mayor variabilidad se explica por el As, Pb y Fe. Lo mismo sucede, aunque los vectores más alejados, con los iones (excepto $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), Sr, Ca, temperatura, CE, DO y arenas; en este caso se eliminaron las variables arenas, DO y temperatura, y las que se conservaron fueron las más explicativas CE, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , Sr, y Ca. Las variables pH, $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ y limos también son más explicativas, siendo las dos últimas las únicas que caracterizan los dos cuadrantes superiores del análisis. En este gráfico, además, se muestra que variables están más relacionadas como $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y Cl^- , el Mg^{2+} con la CE, el Sr y los sulfatos, los elementos de geoquímica con las arcillas y clorofila y el Fe con el Ti (Fig.11 en anexo I).

En cuanto a la relación entre los sitios con las variables ambientales, la zona sur de la laguna de Bacalar y BCO se asocian con los limos. La parte norte de la laguna y el sitio BCE se corresponden con las variables medidas en agua. Para el lago Ocotitalito el sitio ONO se relaciona con $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, mientras que los litorales OSE y ONE se relacionan con las arcillas, la mayoría de elementos de geoquímica y clorofila (Fig.11 en anexo I).

9.2 Diversidad de indicadores biológicos en dos cuerpos de agua kársticos del sureste de México

En total se identificaron 46 taxones de protozoarios e invertebrados (19 de amebas testadas, 5 de cladóceros, 17 de ostrácodos y 5 de quironómidos), de los cuales 14 se

compartieron entre ambos lagos (6 de amebas testadas, 1 de cladóceros, 7 de ostrácodos y ningún quironómido). Para el lago Ocotilito se encontraron 32 taxa (14 de amebas testadas, 5 de cladóceros, 10 de ostrácodos y 4 de quironómidos) y para la laguna de Bacalar 27 (11 de amebas testadas, 1 de cladóceros, 14 de ostrácodos y 1 de quironómidos) (Tabla 10). Las fotografías de los taxones se muestran en las figuras 5, 6, 7 y 8. A continuación se detalla por cada grupo taxonómico la composición específica, riqueza específica y abundancia.

9.2.1 Amebas testadas

-Composición específica

En este estudio se identificaron un total de 18 taxa que pertenecen a 6 géneros. De los cuales 7 fueron identificados hasta el nivel de especie y 11 hasta el nivel de variedad. A continuación se muestra el arreglo taxonómico de las especies de acuerdo a la clasificación de Adl y colaboradores de 2012 y se consideró el género *Mediolus* que fue propuesto por Patterson, 2014.

Amoebozoa Lühe, 1913

- Tubulinea Smirnov *et al.*, 2005
 - Arcellinida Kent, 1880
 - Arcellina Haeckel, 1894
 - Arcella discoides* (Ehrenberg, 1843)
 - Arcella megastoma* (Penard, 1902)
 - Arcella vulgaris* (Ehrenberg, 1830)
 - Diffflugina, Meisterfeld, 2002
 - Diffflugia bidens* (Penard, 1902)
 - Mediolus corona* (Wallich, 1864)
 - Diffflugia glans* (Penard, 1902) var. “glans”
 - Diffflugia oblonga* (Ehrenberg, 1832) var. “oblonga”
 - Diffflugia oblonga* (Ehrenberg, 1832) var. “spinosa”
 - Diffflugia protaeiformis* (Lamarck, 1816) var. “acuminata”
 - Diffflugia protaeiformis* (Lamarck, 1816) var. “amphoralis”
 - Diffflugia urceolata* (Carter, 1864) var. “elongata”
 - Centropyxis aculeata* (Ehrenberg, 1832) var. “aculeata”
 - Centropyxis aculeata* (Ehrenberg, 1832) var. “discoides”
 - Centropyxis constricta* (Ehrenberg, 1843) var. “aerophila”
 - Centropyxis constricta* (Ehrenberg, 1843) var. “constricta”
 - Centropyxis constricta* (Ehrenberg, 1843) var. “spinosa”
 - Heleoptera sphagni* (Leidy, 1874)
 - Cyclopyxis kahli* (Deflandre, 1929)

Riqueza específica

En las 9 muestras analizadas se reportan 18 taxones identificados, las muestras ONO del lago Ocotitalito y BSO de la laguna de Bacalar, registraron la mayor riqueza específica para este grupo con 13 y 9 taxones, respectivamente, mientras que en ONE y en BCO se encontraron solo 3 taxones (Tabla 10). La presencia de las especies y variedades en cada litoral dentro de ambos cuerpos lacustres se encuentra reportada en la Tabla 10.

El taxón más frecuente, presente en los nueve sitios muestreados fue *Centropyxis aculeata* var. "aculeata" con 488 individuos; de ellos 304 presentes en el lago Ocotitalito (Fig. 9) y 184 en la laguna de Bacalar (Fig.10). Sin embargo, para la laguna de Bacalar no fue el taxón más abundante sino lo fue *Centropyxis aculeata* var. "discoides". Los taxones con menos organismos para el lago Ocotitalito fueron *Diffugia glans* var. "glans" con 6 individuos; y los taxa con solo uno o dos ejemplares fueron *Arcella megastoma*, *Diffugia protaeiformis* var. "acuminata" y *Heleopera sphagni?*. Asimismo en la laguna Bacalar la especie *Arcella vulgaris* tuvo solo un ejemplar.

Por otro lado, los taxa que se restringieron a un solo cuerpo de agua son *Arcella megastoma*, *Diffugia oblonga* var. "oblonga", *Diffugia urceolata* var. "elongata", *Diffugia glans* var. "glans", *Diffugia protaeiformis* var. "acuminata", *Heleopera sphagni?* y *Cyclopyxis kahli* para el lago Ocotitalito (Tabla 10). Los taxa restringidos a la laguna de Bacalar son: *Centropyxis constricta* var. "aerophila", *Diffugia oblonga* var. "spinosa", *Diffugia protaeiformis* var. "amphoralis", *Diffugia globula?* y *Arcella vulgaris* (Tabla 10).

-Abundancia

Las amebas testadas fueron el grupo más diverso y abundante entre los grupos taxonómicos estudiados en el lago Ocotitalito y el segundo en la laguna de Bacalar.

Se recolectaron en total 1,620 amebas testadas en 22.5 cm³ de sedimento superficial de los dos cuerpos de agua. Para el lago Ocotitalito fueron 1,001 amebas testadas en solo 7.5 cm³; mientras que en la laguna de Bacalar fueron 619 individuos en 15 cm³. La mayor cantidad de taxones e individuos en el lago Ocotitalito se encontró en ONO con 9 taxa y 579 inds./2.5cm³; por el contrario, ONE tuvo un menor número con 4 taxa y 193 inds./2.5cm³. En la laguna de Bacalar el sitio más diverso y abundante fue BSO con 8 taxa y 353 inds./2.5cm³; en contraste BNO presentó 4 taxa y 35 inds./2.5cm³ (Tabla 11).

9.2.2 Cladóceros

-Composición específica

Se identificó un total de 5 taxones, pertenecientes a 3 familias, 5 géneros y 5 especies. Para algunas de las identificaciones no se logró asegurar el nivel de clasificación específico, debido a que se contaba con pocos individuos en buenas condiciones, ya que faltaban partes importantes para su identificación como el postabdomen. A continuación se presenta el acomodo taxonómico de las especies de acuerdo a las clasificaciones de Ahyong *et al.* (2011), Kotov *et al.* (2013) y Elías-Gutiérrez *et al.* (2008).

- Subphylum Crustacea Brünnich, 1772
 - Clase Branchiopoda Latreile, 1817
 - Subclase Phyllopoda Preuss, 1951
 - Orden Displostraca Gerstaecker, 1866
 - Suborden Cladocera Latreile, 1829
 - Infraorden Anomopoda Stebbing, 1902
 - Familia Chydoridae Stebbing, 1902
 - Género *Disparalona* Fryer, 1968
 - Disparalona cf. hamata* Birge, 1879

-Riqueza específica

De las muestras revisadas y 5 taxones identificados de este grupo, las muestras ONO y OSE del lago Ocotitalito registraron la mayor riqueza específica con 5 taxones ambas muestras. Al contrario, las muestras BNE, BCO, BCE y BSE no tuvieron ninguna especie de este grupo y las muestras BNO y BSO solo se encontró una especie (Tabla 10).

El taxón más frecuente fue *Ceriodaphnia cf. dubia* presente en 4 muestras, en 2 de 3 del lago Ocotitalito y únicamente en 2 de las 6 de la laguna de Bacalar (Tabla 10).

-Abundancia

Este grupo fue el menos abundante y diverso de este trabajo. La mayoría de especies de cladóceros encontrados estuvieron presentes en el lago Ocotitalito, a comparación de la laguna de Bacalar en donde solamente se halló una especie (*Ceriodaphnia cf. dubia*) (Fig. 9 y 10, Tabla 10).

En este estudio se recolectó un total de 422 organismos en 22.5 cm³ de sedimento superficial de los dos cuerpos de agua (Ocotalito y Bacalar). Para el lago Ocotalito fueron 416 individuos en 7.5 cm³ (Tabla 11), siendo el sitio OSE con mayor número de individuos (281 inds/cm³), ONO con 135 y ONE sin la presencia de este grupo (Fig. 9). Las especies más abundantes en el lago Ocotalito fueron *Anthalona verrucosa pectinata*, *Disparalona* cf. *hamata* y *Eubosmina longispina*. En la laguna de Bacalar se encontró únicamente 6 individuos de cladóceros en los 15 cm³ de las seis muestras de la especie *Ceriodaphnia* cf. *dubia*, especie que también estuvo presente para el lago Ocotalito (Tabla 11).

9.2.3 Ostrácodos

-Composición específica

Se identificaron un total de 6 familias, 15 géneros y 17 especies. Algunas especies debido a que los organismos se encontraban en un estadio juvenil y a que morfológicamente no correspondieron con lo descrito en la literatura no fue posible establecer un nivel específico.

A continuación se muestra el orden taxonómico de las especies de acuerdo a la clasificación de Martens y Sukonthip (2011) y 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 Cypridinae Baird, 1845

Género *Chlamydotheca* Saussure, 1858

Chlamydotheca unispinosa Baird, 1862

Subfamilia Cypridopsinae Kaufmann, 1900

Género *Cypridopsis* Stuhlmann, 1888

Cypridopsis vidua O.F. Müller, 1776

Género *Potamocypris* Brady, 1870

Potamocypris sp.

Subfamilia Cypricercinae McKenzie, 1971

Género *Strandesia* Stuhlmann, 1888

Strandesia intrepida Furtos, 1936

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.
 Género *Physocypria* Vavra, 1897
 Physocypria globula Furtos 1933
 Superfamilia Darwinuloidea Brady y Robertson, 1885
 Familia Darwinulidae Brady y Robertson, 1885
 Género *Alicenula* Rossetti y Martens, 1998
 Alicenula sp.
 Género *Darwinula* Brady y Robertson, 1885
 Darwinula stevensoni Brady y Robertson, 1870
 Género *Vestalenula* Rossetti & Martens, 1998
 Vestalenula sp.
 Superfamilia Cytheroidea
 Familia Cytheridae Baird, 1850
 Género *Perissocytheridae* Stephenson, 1938
 Perissocytheridae 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
 Limnocythere opesta Brehm, 1939
 Limnocythere sp.
 Subfamilia Timitiaseviinae Mandelstam, 1960
 Género *Cytheridella* Daday, 1905
 Cytheridella ilosvayi Daday, 1905

-Riqueza específica

De un total de 9 muestras analizadas y 17 especies identificadas, las muestras con mayor riqueza específica fueron ONO y BSO, con 10 y 8 taxones, respectivamente. De lo contrario, las muestras ONE y OSE, en el caso del lago Ocotálito se obtuvieron únicamente 4 especies. Y el litoral BSE de la laguna de Bacalar en donde se encontró un solo taxón (Tabla 10)

El taxón más frecuente fue *Cypridopsis vidua*, especie presente en 8 de las 9 muestras de ambos cuerpos lacustres (Tabla 10).

Abundancia

Este grupo fue el más diverso y abundante de este estudio para la laguna de Bacalar y el segundo en el lago Ocotálito (Fig. 9 y 10). La abundancia total de ostrácodos recolectados

fueron 1,020 individuos en 22.5 cm³ de sedimento superficial de los dos cuerpos de agua (Tabla 11). Entre estos dos lagos se encontraron especies que ambos comparten las cuales son: *Cypridopsis vidua*, *Cytheridella ilosvayi*, *Darwinula stevensoni*, *Pseudocandona* sp., *Strandesia intrepida* y *Alicenula* sp. Mientras que se encontró que la especie *Chlamydotheca unispinosa* estuvo presente solamente en el lago Ocotalito. En el caso de la laguna de Bacalar, las especies solo presentes en este cuerpo de agua fueron *Cyprideis* sp., *Limnocythere floridensis*, *Limnocythere opesta*, *Limnocythere* sp., *Perissocytheridea cribosea*, *Potamocypris* sp., *Heterocypris putei* y *Physocypris globula* (Fig. 10, Tabla 10).

En el lago Ocotalito se obtuvo una abundancia de 679 ostrácodos en 7.5 cm³. La mayor cantidad de organismos se encontró en el sitio ONO (312 inds./cm³), mientras que el punto de muestreo que presentó una menor cantidad fue ONE (92 inds./cm³) (Tabla 11). Por otro lado, en la laguna de Bacalar la abundancia total fue de 341 individuos en 15 cm³, encontrando la mayor abundancia en el sitio BSO (104 inds./cm³) y el de menor abundancia BSE (24 inds./cm³) (Tabla 11).

Por otro lado, la especie con más organismos en el lago Ocotalito fue *Cytheridella ilosvayi* con 717 (Fig. 9) y las menos abundantes fueron *Chlamydotheca unispinosa*, *Vestalenula* sp. y *Cypria* sp. En Bacalar la especie *Cypridopsis vidua* fue la tuvo mayor cantidad de individuos con 596, de los cuales 336 se registraron en el litoral BSO; y las especies *Limnocythere floridensis* y *Potamocypris* sp. se encontraron 1 y 15 individuos, respectivamente (Fig.10).

9.2.4 Quironómidos

-Composición específica

En total se identificaron 3 subfamilias y 6 géneros. Los organismos no se lograron identificar hasta nivel de especie debido a que no de todos se contaba con el individuo completo (larvas) solo con la capsula cefálica. Además de que para la zona de los trópicos no se han descrito claves de identificación ni reportes de las especies que permitan asegurar su presencia en la zona.

A continuación se presenta el orden taxonómico de los géneros identificados de acuerdo a Epler (2001).

Subphylum Hexapoda
Clase Insecta

Orden Diptera

Subfamilia Chironominae Macquart, 1838

Tribu Chironomini Macquart, 1838

Género *Lauterborniella* Thienemann y Bause, 1913/*Zavreliella* Kieffer, 1920

Género *Parachironomus* Lenz, 1921

Género *Polypedilum* Kieffer, 1912

Subfamilia Tanypodinae Kieffer, 1906

Género *Coelotanypus* Kieffer, 1913

Género *Labrundinia* Fittkau, 1962

Subfamilia Orthocladiinae Kieffer, 1911

Género *Cricotopus* van der Wulp, 1874

-Riqueza específica

De las 9 muestras revisadas y 5 taxones identificados, las muestras ONO y OSE presentaron la mayor riqueza específica con 3 taxones cada uno. Mientras que en la laguna de Bacalar 5 de las 6 muestras presentaron únicamente un solo taxón (*Coelotanypus*) siendo el género más frecuente en Bacalar. En la muestra BNO no se encontró ningún ejemplar de este grupo (Tabla 10).

Cabe destacar que no se presentaron los mismos taxones en lago Ocotitalito y laguna de Bacalar. El taxón más frecuente en el lago Ocotitalito fue *Cricotopus*, género presente en las 3 muestras de este lago (Tabla 10).

-Abundancia

Este grupo, en general fue el tercer más abundante y diverso de este estudio. En total de las nueve muestras revisadas por ambos lagos (22.5 cm³) se encontraron un total de 539 individuos (Tabla 11). En la laguna de Bacalar solamente se registró el género *Coelotanypus* con una abundancia total de 65 individuos en 15 cm³; encontrando la mayor cantidad de individuos en el sitio BSO (22 inds./2.5cm³) y el sitio BNO sin la presencia de este grupo (Tabla 11).

Para el lago Ocotitalito la abundancia de quironómidos fue de un total de 474 individuos en 7.5 cm³. El sitio con mayor número de organismos fue ONO con 190 inds./2.5cm³, mientras que el litoral con menor número fue ONE con 106 inds./2.5cm³ (Tabla 11). Las especies más abundantes fueron *Lauterborniella/Zavreliella* y *Cricotopus*. En el caso del litoral ONO el género más abundante fue QM2, en el sitio ONE fueron los géneros QM2 y QM3 y en el sitio OSE fue QM3 (Fig. 9).

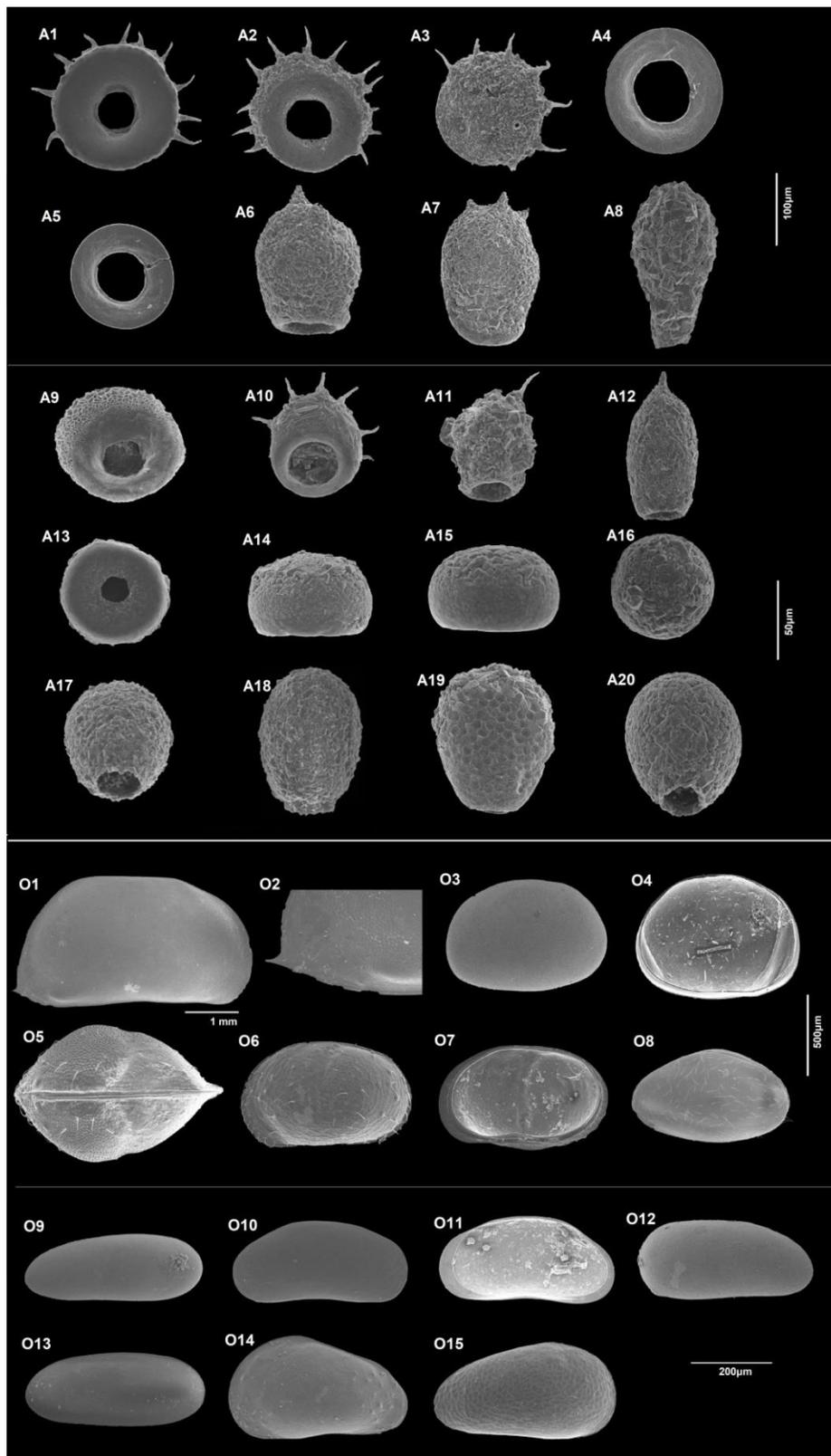


Figura 5.- Lámina de fotografías de microscopía electrónica de barrido de amebas testadas y ostrácodos del lago Ocotitalito. **Amebas testadas:** A1-A2 *Centropyxis aculeata* var. "aculeata" vista ventral, A3 vista dorsal; A4 *Arcella megastoma*; A5 *Arcella discoides*; A6-A7 *Diffflugia bidens* vista lateral; A8 *Diffflugia oblonga* var. "oblonga" vista lateral; A9 *Centropyxis aculeata* var. "discoides" vista ventral; A10 *Centropyxis constricta* var. "spinosa" vista ventral; A11 *Centropyxis constricta* var. "constricta" vista lateral; A12 *Diffflugia protaeiformis* var. "acuminata" vista lateral; A13-A16 *Cyclopyxis kahli*, A13 vista ventral, A14-A15 vista lateral y A16 vista dorsal; A17-A18 *Diffflugia urceolata* var. "elongata", A17 vista ventral y A18 vista lateral; A19 *Heleopera sphagni* vista lateral; A20 *Diffflugia glans* var. "glans" vista ventral. **Ostrácodos:** O1-O2 *Chlamydotheca unispinosa*, O1 vista externa, VD y O2 acercamiento a la espina; O3-O4 *Cypridia* sp., O3 vista externa, VI y O4 vista interna, VI; O5-O7 *Cytheridella ilosvayi*, O5 caparazón, vista ventral, O6 vista externa y VI, O7 vista interna y VD; O8 *Cypridopsis vidua* vista externa, caparazón y VI; O9 *Darwinula stevensoni* (vista externa, VI); O10-O11 *Pseudocandona* sp., O10 vista externa, VD y O11 vista interna, VD; O12 *Vestalenula* sp. (Vista externa, VD); O13 *Alicenula* sp. (Vista externa, VI); O14-O15 *Strandesia intrepida*, O14 vista externa, VI y O15 vista externa VD. VD=valva derecha y VI= valva izquierda.

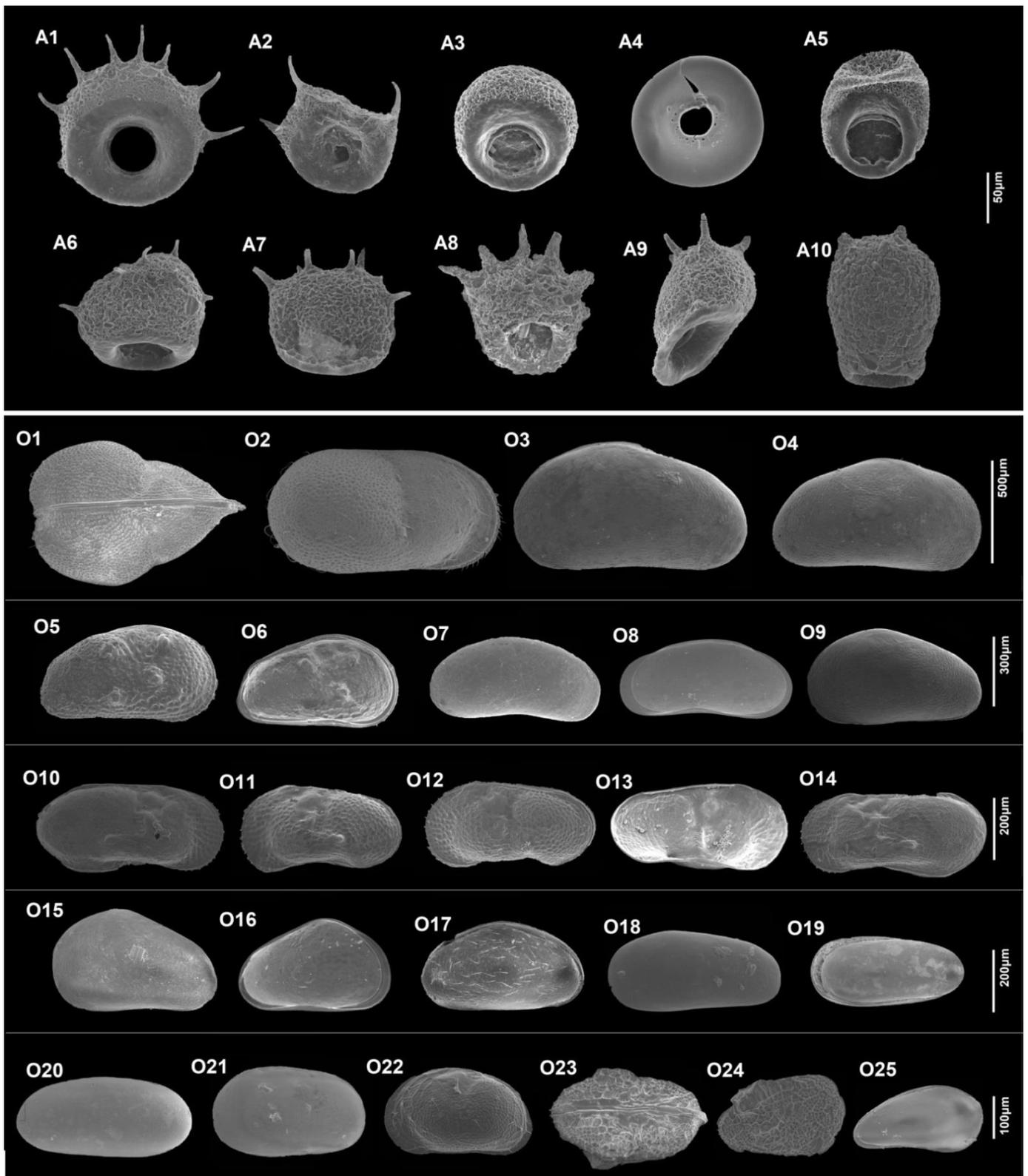


Figura 6.- Lámina de fotografías de microscopía electrónica de barrido de amebas testadas y ostrácodos de la laguna de Bacalar. **Amebas testadas:** A1-A2 *Centropyxis aculeata* var. "aculeata" vista ventral; A3 *Centropyxis aculeata* var. "discoides" vista ventral; A4 *Arcella vulgaris* vista ventral; *Centropyxis constricta* var. "aerophila" vista ventral; A6-A7, A9 *Centropyxis constricta* var. "constricta" vista lateral, A6 y A9 apertura; A8 *Centropyxis constricta* var. "spinosa"; A10 *Diffugia bidens* vista lateral. **Ostrácodos:** O1-O2, O22 *Cytheridella ilosvayi*, O1 caparazón, vista ventral, O2 vista externa, VD y O22 vista externa, VI; O3-O4 *Heterocypris putei*, O3 vista externa, VI y O4 vista externa, VD; O5-O6 *Cyprideis* sp., O5 vista externa, VD y O6 vista interna, VD; O7-O8 *Pseudocandona* sp., O7 vista externa, VD y O8 vista interna VD; O9, O15-O16 *Strandesia intrepida*, O9 vista interna, VI, O15 vista externa, VI y O16 vista interna, VI; O10 *Limnocythere* sp. (Vista externa, VD); O11-O13 *Limnocythere opesta*, O11-O12 vista externa, VI y O13 vista interna VI; O14 *Limnocythere floridensis* (vista externa, VI); O17 *Cypridopsis vidua* (vista externa, VI); O18, O20 *Darwinula stevensoni*, O18 y O19 vista externa, VD; O20 *Alicenula* sp. (Vista externa, VI); O21 *Physocypris* sp. (Vista externa, VD); O23-O24 *Perissocytheridea cribosa*, O23 caparazón, vista ventral y O24 vista externa, VD; O25 *Potamocypris* sp. (Vista externa, VD). VD=valva derecha y VI= valva izquierda.

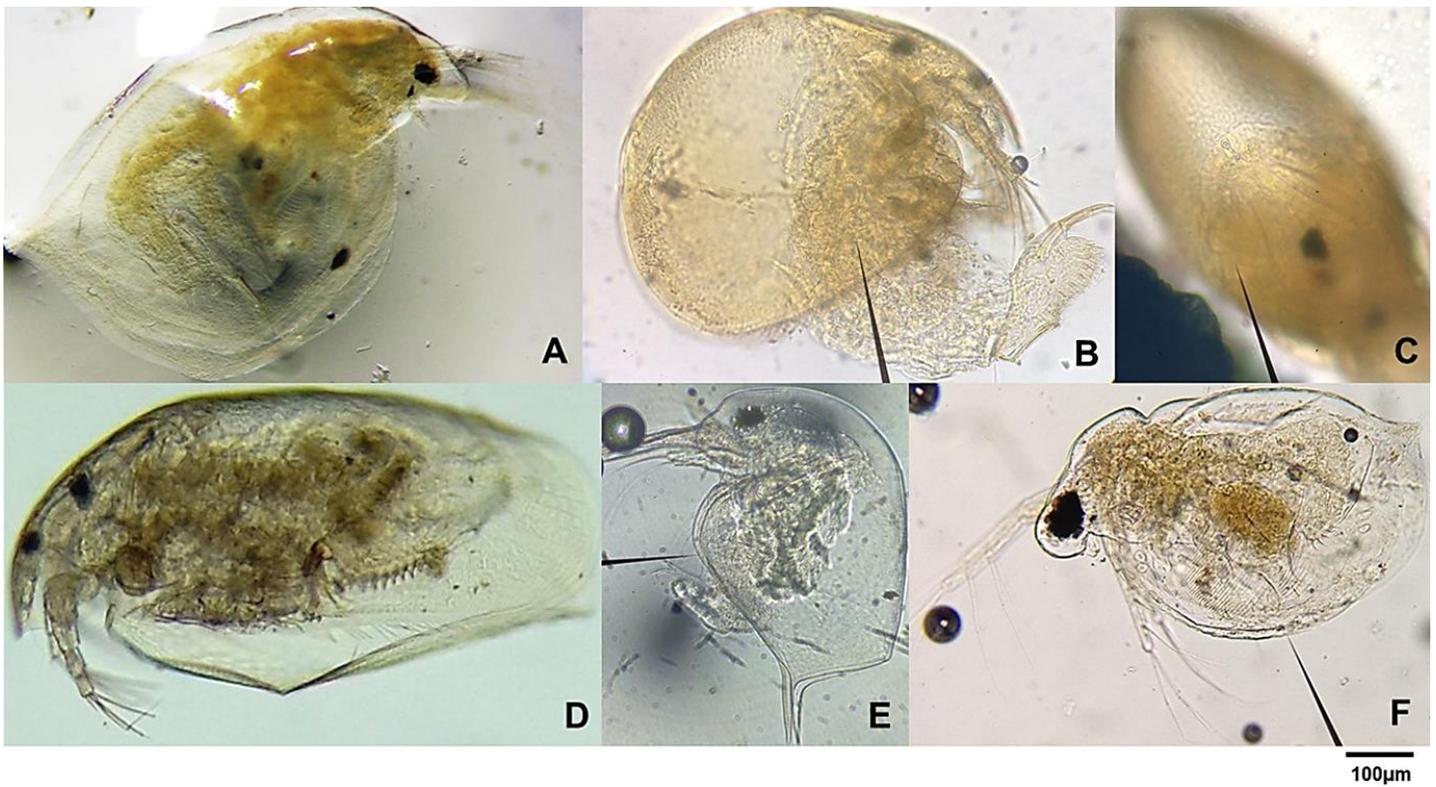


Figura 7.-Lámina de fotografías de microscopía óptica de cladóceros del lago Ocotalito y laguna de Bacalar. **A)** *Simocephalus mixtus* del lago Ocotalito, **B)** *Anthalona verrucosa pectinata* del lago Ocotalito, **C)** poros de *Anthalona verrucosa pectinata* del lago Ocotalito, **D)** *Disparalona cf. hamata* del lago Ocotalito, **E)** *Eubosmina longispina* del lago Ocotalito, **F)** *Ceriodaphnia dubia* de la laguna de Bacalar.

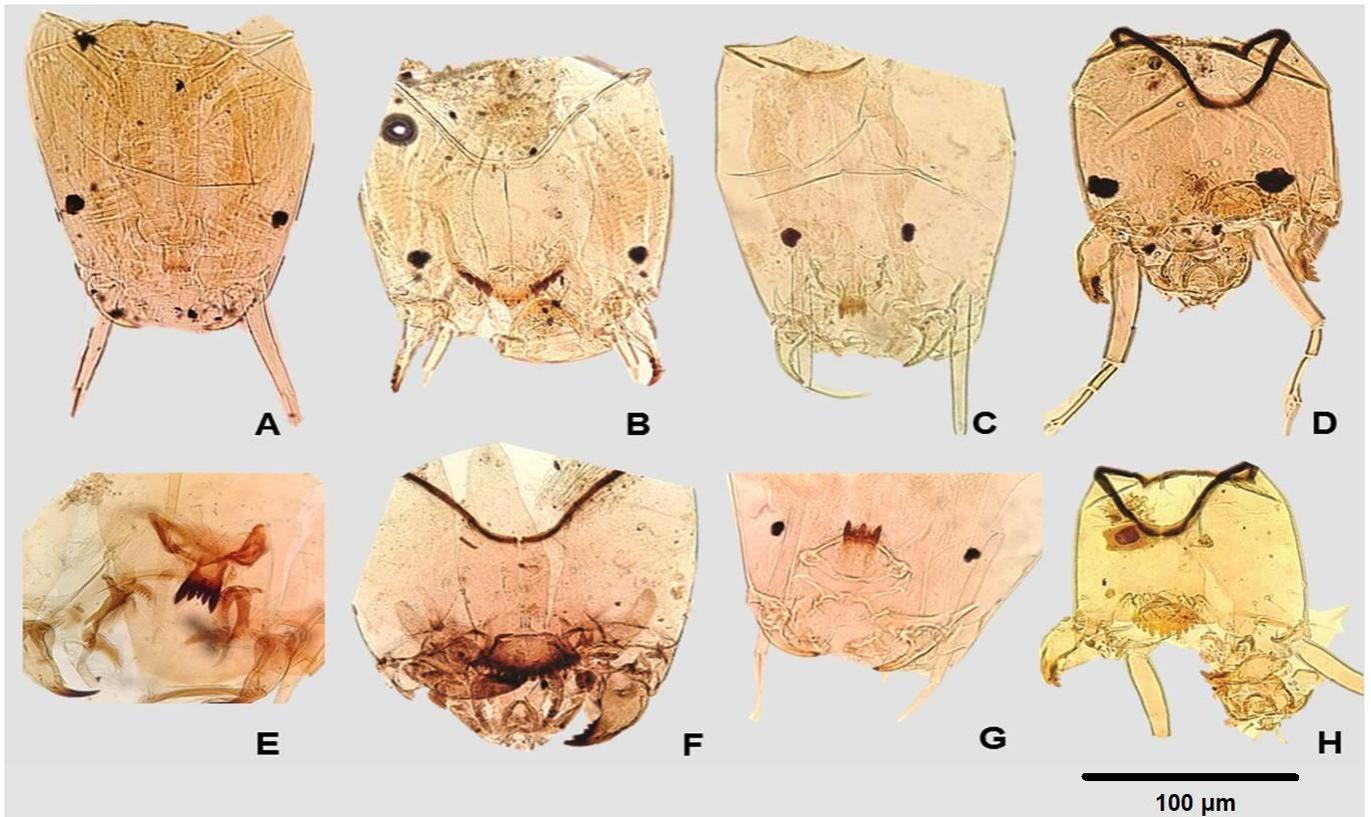


Figura 8.- Lámina de fotografías de microscopía óptica de quironómidos del lago Ocotalito y laguna de Bacalar. **A)** *Coelotanypus* de la laguna Bacalar (40x), **B)** *Cricotopus* del lago Ocotalito (40x), **C)** *Labrundinia* del lago Ocotalito (40x), **D)** *Lauterborniella/Zavreliella* del lago Ocotalito (40x), **E)** *Coelotanypus* del lago Ocotalito (100x), **F)** *Polypedilum* del lago Ocotalito (100x), **G)** *Labrundinia* del lago Ocotalito (100x), **H)** *Lauterborniella/Zavreliella* del lago Ocotalito (100x).

Tabla 10.- Registro de las especies y riqueza específica de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos en los sitios de muestreo en los cuerpos de agua lago Ocotitalito y laguna de Bacalar. Los rectángulos en color verde representan los taxones presentes únicamente en el lago Ocotitalito, el color azul las especies que solo se presentaron en la laguna de Bacalar y los de color naranja aquellos que estuvieron presentes en ambos cuerpos de agua.

Grupo	Código	Nombre de la especie	Ocotitalito			Bacalar					
			ONO	ONE	OSE	BNO	BNE	BCO	BCE	BSO	BSE
Amebas testadas	ARD	<i>Arcella discoides</i>									
	ARM	<i>Arcella megastoma</i>									
	ARV	<i>Arcella vulgaris</i>									
	CAD	<i>Centropyxis aculeata</i> var. "discoides"									
	CCS	<i>Centropyxis constricta</i> var. "spinosa"									
	CAA	<i>Centropyxis aculeata</i> var. "aculeata"									
	CCC	<i>Centropyxis constricta</i> var. "constricta"									
	CAE	<i>Centropyxis constricta</i> var. "aerophila"									
	CYK	<i>Cyclopyxis kahli</i>									
	DOS	<i>Diffflugia oblonga</i> var. "spinosa"									
	DPA	<i>Diffflugia protaeiformis</i> var. "amphoralis"									
	DBS	<i>Diffflugia bidens</i>									
	DGL?	<i>Diffflugia globula</i> ?									
	DOO	<i>Diffflugia oblonga</i> var. "oblonga"									
	DUE	<i>Diffflugia urceolata</i> var. "elongata"									
	DAC	<i>Diffflugia glans</i> var. "glans"									
DPR	<i>Diffflugia protaeiformis</i> var. "acuminata"										
HES	<i>Heleopera sphagni</i> ?										
MCO	<i>Mediolus corona</i>										
Riqueza específica			13	3	7	5	4	3	5	9	7
Cladóceros	AVE	<i>Anthalona verrucosa pectinata</i>									
	CDU	<i>Ceriodaphnia dubia</i>									
	DHA	<i>Disparalona</i> cf. <i>hamata</i>									
	ELO	<i>Eubosmina longispina</i>									
	SMI	<i>Simocephalus mixtus</i>									
Riqueza específica			5	0	5	1	0	0	0	1	0
Ostrácodos	ALI	<i>Alicenula</i> sp.									
	CLA	<i>Chlamydotheca unispinosa</i>									
	CYP	<i>Cypria</i> sp.									
	CIS	<i>Cyprideis</i> sp.									
	CVI	<i>Cypridopsis vidua</i>									
	CIL	<i>Cytheridella ilosvayi</i>									
	DST	<i>Darwinula stevensoni</i>									
	HPU	<i>Heterocypris putei</i>									
	LFL	<i>Limnocythere floridensis</i>									
	LOP	<i>Limnocythere opesta</i>									
	LIM	<i>Limnocythere</i> sp.									
	PCR	<i>Perissocytheridea cribosa</i>									
	PGL	<i>Physocypria globula</i>									
	PSE	<i>Pseudocandona</i> sp.									
POT	<i>Potamocypris</i> sp.										
SIN	<i>Strandesia intrepida</i>										
VES	<i>Vestalenula</i> sp.										
Riqueza específica			10	4	4	5	5	4	7	8	3
Quironómidos	QM1	<i>Coelotanypus</i>									
	QM3	<i>Cricotopus</i>									
	QM5	<i>Labrundinia</i>									
	QM2	<i>Lauternborniella/Zavreliella</i>									
	QM4	<i>Polypedilum</i>									
Riqueza específica			3	2	3	0	1	1	1	1	1
Riqueza específica total			30	9	19	11	10	8	13	19	11

Tabla 11.- Abundancia de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos y quironómidos. El valor se da en individuos por 2.5 cm³.

	Amebas testadas	Cladóceros	Ostrácodos	Quironómidos	Total de individuos/2.5cm ³
ONO	579	135	312	190	1216
ONE	193	0	92	106	391
OSE	229	281	275	178	963
Total [Inds./7.5cm³]	1,001	416	679	474	2570
BNO	35	1	135	0	171
BNE	29	0	201	18	248
BCO	108	0	57	3	168
BCE	23	0	172	4	199
BSO	353	5	230	22	610
BSE	71	0	55	18	144
Total [Inds./15cm³]	619	6	850	65	1540
Totales [Inds./22.5cm³]	1,620	422	1,529	539	4110

-Índices de diversidad

Respecto a los índices de diversidad calculados en este trabajo, en la Tabla 12 se muestran los valores del índice Shannon-Wiener (H'), de la medida de diversidad verdadera (D) y de riqueza específica (S). Los sitios de cada cuerpo de agua que obtuvieron el valor más alto de acuerdo el índice de Shannon fueron ONO (2.8 bits/ind.) y BCE (2.3 bits/ind.), correspondiendo con los mismos litorales que obtuvieron los valores de diversidad verdadera más altos con 16.3 NES y 9.9 NES, respectivamente. Mientras que los sitios con los valores más bajos fueron ONE con 2.1 bits/ind. y 8.4 NES, y BCO con 1.7 bits/ind. y 5.5 NES.

Tabla 12.- Índices de diversidad en cada sitio de muestreo. H' es el índice de Shannon-Wiener (con \log_2 sus unidades son bits/ind.), D es la diversidad verdadera (sus unidades son NES numero efectivo de especies) y S es la riqueza específica total, considerando todas las especies de los cuatro grupos de bioindicadores (sus unidades son las especies).

Índices de diversidad			
Sitios	H'	D	S
ONO	2.8	16.3	30
ONE	2.1	8.4	9
OSE	2.6	12.9	19
BNO	2.0	7.3	11
BNE	2.2	8.7	10
BCO	1.7	5.5	8
BCE	2.3	9.9	13
BSO	2.2	9.4	19
BSE	2.2	8.8	11

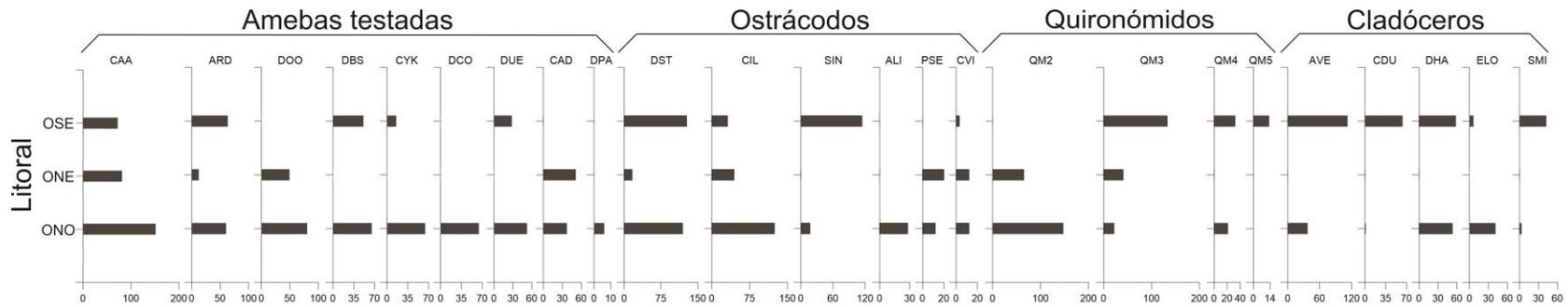


Figura 9.- Abundancia de taxones identificados en el lago Ocotitalito. En el eje de las Y se encuentran los litorales muestreados y en el eje de las X las abundancias ordenadas de mayor a menor respecto cada grupo. Los taxones están ordenados por grupo de mayor a menor diversidad y abundancia. Esta gráfica se hizo con base en los datos obtenidos, considerando a los caparazones y partes blandas de ostrácodos encontrados en este estudio. Los códigos de los litorales se describen en la Tabla 4, los de las especies y los nombres de las especies se encuentran en la Tabla 10.

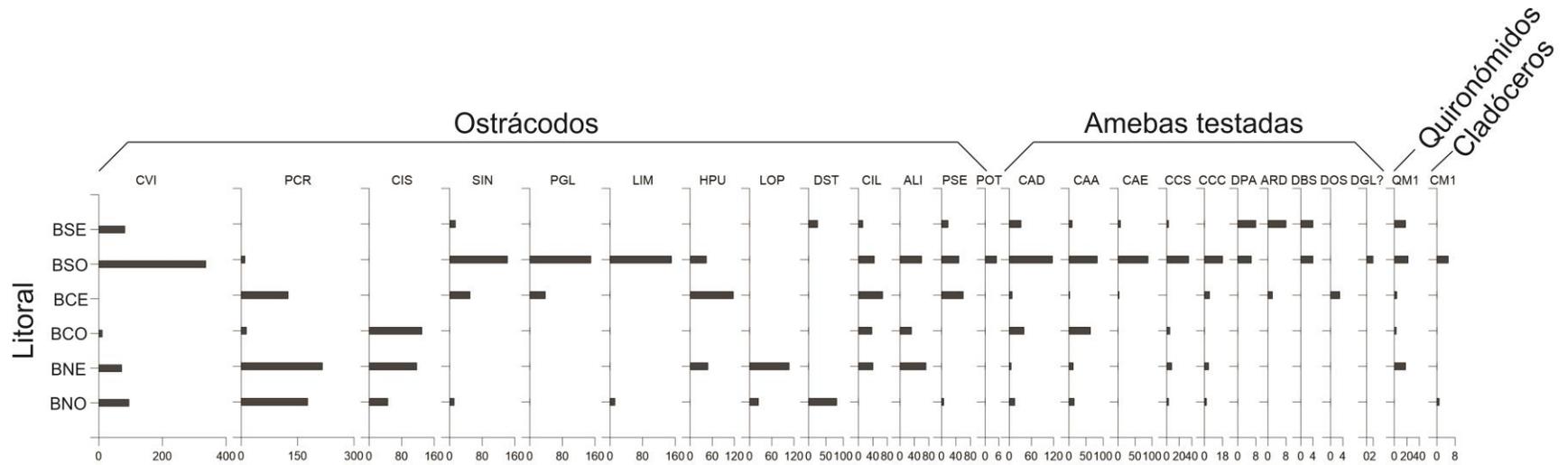


Figura 10.- Abundancia de taxones identificados en la Laguna de Bacalar. En el eje de las Y se encuentran los litorales muestreados y en el eje de las X las abundancias ordenadas de mayor a menor respecto cada grupo. Los taxones están ordenados por grupo de mayor a menor diversidad y abundancia. Esta gráfica se hizo con base en los datos obtenidos, considerando a los caparazones y partes blandas de ostrácodos encontrados en este estudio. Los códigos de los litorales se describen en la Tabla 4, los de las especies y los nombres de las especies se encuentran en la Tabla 10.

9.3 Relación de los taxones con las variables ambientales

A partir del análisis de correspondencia canónica (CCA) se relacionaron las especies de bioindicadores con las variables ambientales. El CCA utilizó 35 taxones de los cuatro grupos y 9 muestras de los diferentes litorales correspondientes a Ocotalito y Bacalar. Las variables ambientales seleccionadas fueron aquellas que mostraron mayor variabilidad en el análisis de componentes principales (Fig. 11, anexo I). La varianza explicada por los ejes 1 y 2 es de 55.99%, siendo el primero el que explica el 33.81% y el segundo el 22.18% de la variabilidad.

El eje 1 separa los litorales del lago Ocotalito del lado negativo y los de la laguna de Bacalar del lado positivo. Separa las aguas con mayores conductividades ($\sim 2,575 \pm 329.7 \mu\text{S/cm}$) y más salobres, dominadas por sulfatos de Bacalar de las menos salobres y con conductividades menores ($\sim 304.3 \pm 15 \mu\text{S/cm}$) dominadas por bicarbonatos de Ocotalito. Asimismo en cuanto a las variables medidas en los sedimentos (vectores grises) separa los sedimentos más arenosos y ricos en Ca y Sr de Bacalar de los sedimentos ligeramente más limosos y ricos en Fe y Ti de Ocotalito. Además el pH parece ser la variable que define el eje 2, en el cual también varía el Cl^- y Na^+ , iones que caracterizan los sitios de la zona norte de la laguna.

Este grafico para amebas testadas, cladóceros y quironómidos indica que los elementos Fe, As y Pb de los sedimentos superficiales, los limos y el pH influyen en la distribución de los taxones en el lago Ocotalito (Fig. 12). Mientras que para los ostrácodos fueron los iones, la conductividad, los elementos de la geoquímica como el Sr y Ca, las arenas y las arcillas las variables que determinaron su distribución, siendo éste el grupo más ampliamente distribuido, ubicado por todos los cuatro cuadrantes del CCA con mayor número de especies distribuidas en la laguna de Bacalar.

Las especies *Cyprideis* sp., *Perissocytheridea cribosa* y *Limnocythere opesta*, están situadas en la parte positiva de ambos ejes, lo que indica su preferencia por las aguas con concentraciones de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y Cl^- tan altas como 8.77 meq/L y 12.25 meq/L, respectivamente; tal como en los litorales de la zona norte de la laguna (BNO y BNE) y BCO. *Alicenula* sp., en este mismo cuadrante superior derecho se asoció con las arenas. La conductividad (CE), los iones Mg^{2+} , SO_4^{2-} y Ca^{2+} y los elementos de la geoquímica Ca y Sr son los factores que están determinando la distribución de los taxones *Heterocypris putei*, *Coelotanypus*, *Centropyxis aculeata* var. "discoides", *Cypridopsis vidua*, *Centropyxis constricta* var. "constricta", *C. constricta* var. "spinosa", *Physocypris globula*, *Limnocythere*

sp. y *Centropyxis constricta* var. "aerophila", ubicados en el cuadrante inferior derecho del gráfico (Fig. 12).

Por otro lado, en el cuadrante inferior izquierdo del gráfico, se ubicaron a las especies *Potamocyrpris* sp. y *Pseudocandona* sp. asociadas con los carbonatos ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) y la especie *Strandesia intrepida* con las arcillas en el litoral ONE, en cambio, la especie *Centropyxis aculeata* var. "aculeata" se ubicó adyacente al punto de origen del análisis. Por último, en el cuadrante superior izquierdo del diagrama de ordenación, se concentró la mayoría de taxones (18 de 38), entre estos todas las especies de cladóceros, la mayoría de géneros de quironómidos (4 de 5), seguido de los taxones de amebas testadas y solo 2 especies de ostrácodos. *Cytheridella ilosvayi* se encontró cercana al centro del CCA asociada a los limos y la variable pH parece no explicar la distribución algún taxón ni relacionarse con algún litoral en específico, pero es cercano al sitio OSE. La presencia de los elementos Fe, As y Pb en los litorales del lago Ocotolito, OSE y ONO, son los principales factores que controlan la distribución de las especies (Fig. 12). *Labrundinia*, *Simocephalus mixtus*, *Anthalona verrucosa pectinata*, *Ceriodaphnia dubia*, *Disparalona* cf. *hamata* y *Polypedilum* fueron cercanas entre sí al sitio OSE; y *Cyclopyxis kahli*, *Lauterborniella/Zavreliella*, *Cricotopus*, *Diffugia oblonga* var. "oblonga" y *Eubosmina longispina* en el litoral ONO.

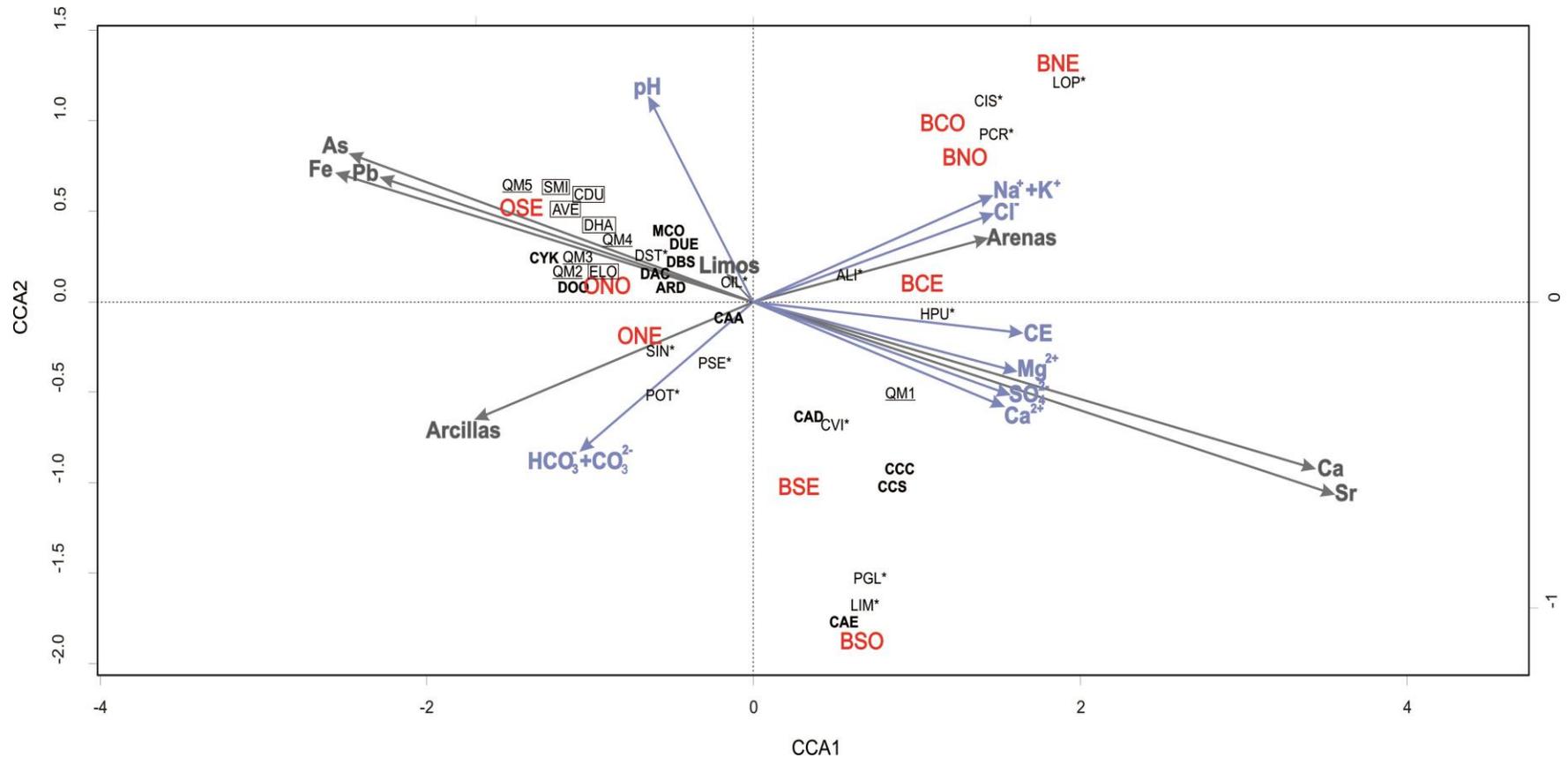


Figura 12.- Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). La figura muestra la ordenación de los sitios con base a los taxones de amebas testadas (negro-negritas), cladóceros (negro-recuadros), ostrácodos (negro-*) y quironómidos (negro subrayado). Los sitios de ambos cuerpos lacustres se encuentran en color rojo. Las flechas azules representan las variables medidas en agua (pH, CE y los iones Na⁺+K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻+CO₃²⁻) y las flechas grises las variables determinadas en sedimentos (As, Pb, Fe, Ca, Sr, arenas, limos y arcillas) seleccionadas del PCA (Figura 11). Los códigos de los taxones se encuentran en la Tabla 10 y los de los sitios en la Tabla 4.

9.4. Ensambls ecológicos

Para agrupar las muestras de acuerdo a la composición de especies se realizó el análisis de cúmulos modo Q y R. Por medio del modo R se identificó a las especies dominantes *Anthalona verrucosa pectinata*, *Ceriodaphnia dubia*, *Simocephalus mixtus*, *Labrundinia*, *Diffflugia oblonga* var. "spinosa", *Potamocypris* sp., *Physocypris globula*, *Centropyxis constricta* var. "aerophila", *Limnocythere* sp., *Diffflugia globula?*, *Mediolus corona*, *Diffflugia glans* var. "glans", *Cyclopyxis kahli* y *Eubosmina longispina*. Y el modo Q permitió identificar cuatro grupos de acuerdo al corte en la distancia euclidiana 5 con base a la abundancia de los taxones: (1) Grupo con abundancia baja, (2) Grupo de especies tolerantes y oportunistas, (3) Grupo de condiciones eutróficas con macrófitas asociadas y (4) Grupo macrófitas (Fig. 13). Cada agrupación fue nombrada de acuerdo a las abundancias de los taxones en los diferentes litorales (anexo IV) y a sus preferencias ecológicas.

El Grupo 1 corresponde a los litorales BNO, BCO, BSE, BNE, BCE y ONE que presentaron una abundancia baja. Los taxa que presentaron una mayor abundancia (≥ 81.7) fueron *Diffflugia oblonga* var. "spinosa", *Potamocypris* sp., *Limnocythere opesta*. Y con una presencia representativa pero menor ($\geq 38.0\%$): *Heterocypris putei*, *Cyprideis* sp., *Perissocytheridea cribosa* y *Diffflugia oblonga* var. "oblonga". El resto de las especies presentes se encontraron por debajo del 20.0% aproximadamente (anexo IV).

El Grupo 2 corresponde a la muestra del litoral BSO, el cual presentó una mayor abundancia (~90.0% aprox.) de un conjunto de especies definidas como tolerantes (anexo IV). Este ensamble se compone por: *Physocypris globula*, *Centropyxis constricta* var. "aerophila", *Limnocythere* sp., *Diffflugia globula*, *Diffflugia protaeiformis* var. "amphoralis", *Centropyxis constricta* var. "spinosa", *Centropyxis constricta* var. "constricta", *Coelotanypus*, *Centropyxis aculeata* var. "discoides" y *Cypridopsis vidua* (Fig. 13).

El Grupo 3 llamado de condiciones eutróficas con macrófitas asociadas pertenece a una sola muestra, el litoral ONO. Este grupo tuvo un ensamble de especies con una abundancia mayor igual a 62.0% (anexo IV). Los taxones que lo componen son: *Mediolus corona*, *Diffflugia glans* var. "glans", *Cyclopyxis kahli*, *Eubosmina longispina*, *Lauterborniella/Zavreliella* y *Diffflugia oblonga* var. "oblonga" (Fig. 13).

Por último, el Grupo 4 denominado macrófitas, se conformó por la muestra del litoral OSE. Este ensamble se compone por organismos que alcanzaron una abundancia mayor a 68.0% aprox. (anexo IV). Los taxones que definieron esta agrupación son: *Labrundinia*, *Simocephalus mixtus*, *Ceriodaphnia dubia*, *Anthalona verrucosa pectinata* y *Cricotopus* (Fig. 13).

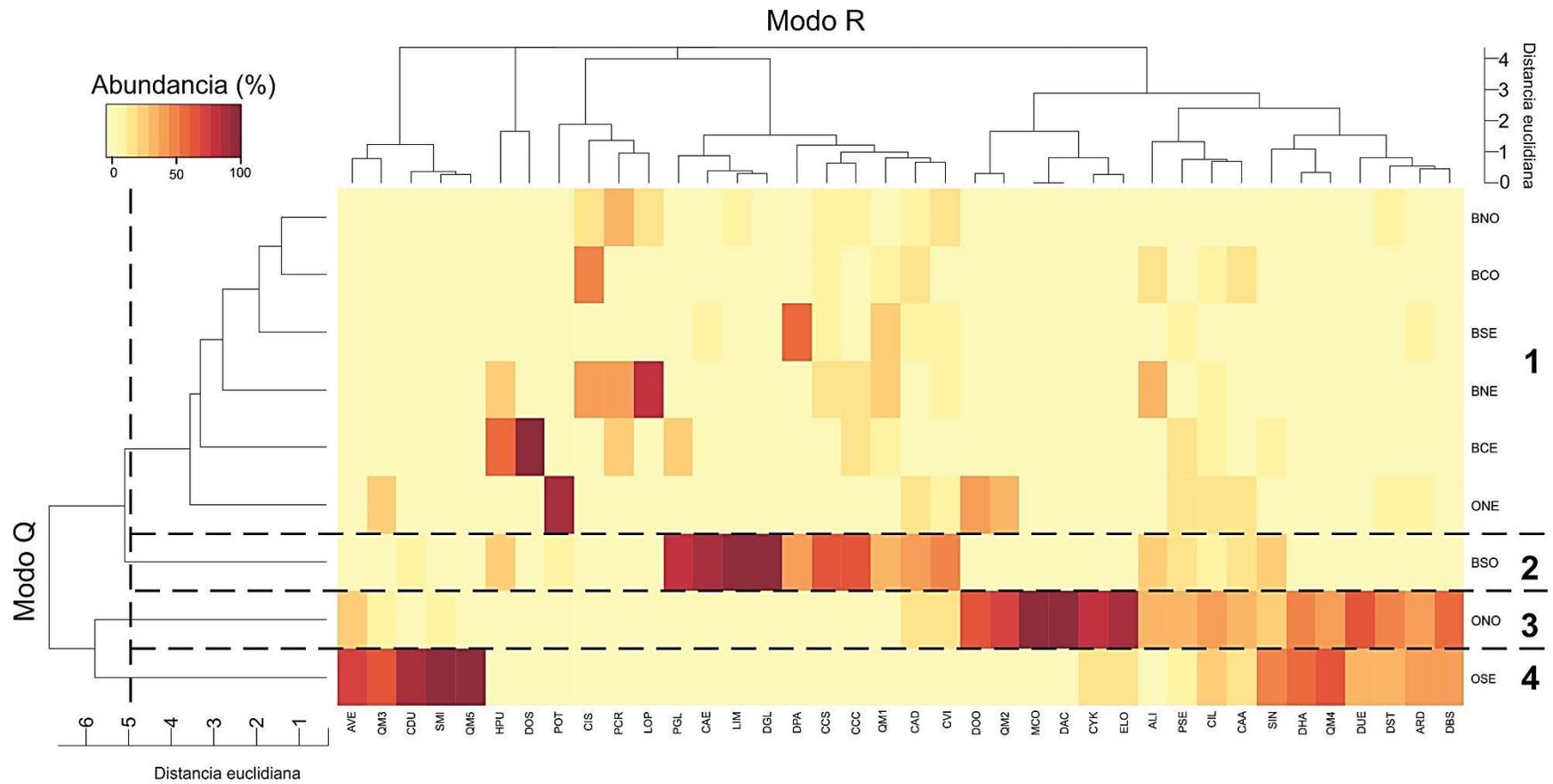


Figura 13.- Diagrama de conglomerados modo Q y R para las 9 muestras analizadas y 38 especies. Las líneas punteadas señalan los cuatro grupos formados en función del cambio en las abundancias de las diferentes especies. Los códigos de las muestras que pertenecen a los litorales se indican en la Tabla 4; el código utilizado para cada especie se encuentra en la Tabla 10 y los porcentajes de abundancia se especifican en el anexo IV.

10. DISCUSIÓN

10.1 Caracterización y comparación limnológica entre el lago Ocotitalito y la laguna de Bacalar

En este estudio se caracterizó tanto la columna de agua como los sedimentos superficiales de cada sitio de muestreo para poder tener un mejor entendimiento de los cambios en las comunidades de los diferentes grupos taxonómicos. Por lo general, únicamente son consideradas las variables *in situ* del agua o de los sedimentos, por lo que el presente estudio es la excepción. Adicionalmente, a la contribución ecológica, toda la información limnológica recabada apoya al mejor conocimiento y descripción de los cuerpos de agua mexicanos, especialmente de sus zonas kársticas, como lo son la Península de Yucatán y el estado de Chiapas. Los cuerpos de agua kársticos Ocotitalito y laguna de Bacalar son dos sistemas lacustres que durante los últimos años han experimentado presión por diferentes tipos de impacto humano, por lo que su descripción y generación de datos limnológicos es importante para comprender los efectos de los distintos impactos.

Lago Ocotitalito

En general, los valores obtenidos de las variables medidas *in situ* (temperatura, pH y conductividad) de los tres diferentes sitios de muestreo del lago Ocotitalito, fueron similares, lo que se puede deber a que es un lago relativamente pequeño. La variable con mayor variación fue la concentración de oxígeno disuelto de 5.6 a 7.6 mg/L (Tabla 6). La temperatura registrada fue de 23.9 a 25°C, valores parecidos aunque más bajos a los obtenidos en estudios de la región (~28°C) y propios de alturas medias en zonas tropicales (Pérez *et al.*, 2011). Los valores de pH en los tres sitios del lago de este estudio fueron ligeramente alcalinos (por arriba de 8) con valores cercanos a los reportados en estudios anteriores como el de Díaz (2015), Echeverría (2016) y Garibay (2018) cuyos valores oscilaron entre 7 y 8. A pesar de que las muestras obtenidas en este estudio corresponden a la temporada seca (marzo) y los estudios anteriores en el lago fueron durante la temporada de lluvias (junio y julio), se necesitan muestreos frecuentes que consideren la estacionalidad, muestreando un mayor número de meses. Podría ser incluso importante considerar la hora del día del muestreo, ya que tanto la temperatura como el pH son factores ambientales poco estables y dependen de ello (Maberly, 1996). Específicamente el pH, tiende a ser más ácido en temporada de secas y más alcalino en

temporada de lluvias; además de ser más alto durante la tarde, cuando hay una mayor producción primaria (Basterrechea, 1986; Pérez *et al.*, 2010; 2011). Este ligero aumento en los valores de pH y en la concentración del ion HCO_3^- (ion dominante en este lago) (Tabla 7) en comparación a los trabajos anteriores (≤ 2.99 meq/L), podría estar relacionado al incremento en la proliferación de vegetación acuática que los locatarios e investigadores reportan en los últimos años (com. pers. Miguel García y Liseth Pérez, 2017). López-Archilla *et al.* (2004) indican que los niveles altos de alcalinidad se asocian con una alta productividad; ya que durante la fotosíntesis se consume CO_2 , disminuyendo la concentración del ion hidronio en las aguas y en consecuencia los valores de pH aumentan. Otros factores en el aumento de pH son: un incremento en el proceso de amonificación por microorganismos, a la reducción del sulfato en los suelos (Jones *et al.*, 2008) o a que en sistemas kársticos el pH tiende a ser más básico al paso del tiempo, cuando la madurez del lago es mayor (Cervantes-Martínez, 2005).

Por otro lado, la concentración de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua depende del conjunto de diversos factores, entre ellos la respiración, la fotosíntesis, la temperatura y la descomposición de la materia orgánica (Stefan y Fang, 1994). En el caso del lago Ocotitalito, la variación en la zona litoral no había sido reportada, solamente a una profundidad de 5 y 7 m donde fue de 5.1 y 5.6 mg/L (Garibay, 2018). En este caso, las concentraciones de oxígeno en los litorales fueron de 5.6 en el sitio ONO y de 7.6 en OSE, con un promedio entre estos sitios de 6.3 mg/L. Comparando con lo reportado por Pérez *et al.* (2011) son valores con variaciones comunes a las reportadas en lagos de la Península de Yucatán. La conductividad se registró en un rango 288 a 311 $\mu\text{S}/\text{cm}$, coincidiendo con los valores reportados por Echeverría (2016), Díaz *et al.* (2017) y Garibay (2018) para el mismo lago entre 216 a 313 $\mu\text{S}/\text{cm}$; esta variable se puede ver afectada por la temperatura, ya que cuando la temperatura aumenta, la conductividad aumenta también (Hayashi, 2004) y por la composición química del agua. En el lago Ocotitalito dominaron iones como el HCO_3^- , Mg^{2+} y Ca^{2+} , los cuales son característicos y los más abundantes en sistemas kársticos, debido a la disolución de calcitas y dolomitas (Canales, 2015), mientras que los demás iones, Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} y Cl^- , se encontraron en concentraciones bajas (≤ 0.06 meq/L).

Los sedimentos superficiales del lago, presentaron altas concentraciones de Ti (de 479.35 a 4,618.53 ppm), este elemento se utiliza comúnmente como indicador de erosión ya que está asociado con la entrada de materiales terrígenos al lago por erosión

superficial a través de escorrentías derivadas de altos niveles de pluviosidad (Jones y Bowse, 1978; Franco, 2014). El litoral ONO, en comparación con los otros dos litorales registro el nivel más bajo de Ti (479.35 ppm), mientras que ONE y OSE tuvieron valores por arriba de las 3,000 ppm (Tabla 8), lo que podría estar indicando que hay un mayor aporte de materiales del lado este del lago. También, la concentración más alta de Ti se registró en el litoral OSE, lo que podría estar asociado con procesos de deforestación, ya que al tener menor cubierta vegetal, la retención de materiales es menor y hay un mayor aporte de materiales al lago. Otros de los elementos que se detectaron, fue Ca y Fe; el calcio es un elemento derivado de la disolución de calizas propias de las formaciones geológicas sobre las que se encuentra el lago (INEGI, 1981). El hierro que aunque es un metal inestable, ya que está sujeto a disolución dependiendo de las condiciones redox, también indica, de la misma manera que el Ti, aporte detrítico al lago e igualmente el Fe está relacionado con procesos diagenéticos (Kemp, 1976; Franco, 2014; Díaz, 2015). Por otro lado, la presencia de los elementos As y Pb, no corresponde a la geología del área y se presentó en mayor concentración (76.54 ppm y 12.85 ppm, respectivamente) en el litoral que esta fuera del área natural protegida tomado del lado del ejido Villa de las Rosas (OSE). De acuerdo a que no se encuentran indicios por los cuales estos elementos antes mencionados sean de origen natural se sugiere la futura investigación sobre su posible fuente. Otra de las características de los sedimentos superficiales de acuerdo a la granulometría es que son homogéneos ya que fueron arenas y dado la coloración oscura evidencia el alto contenido de materia orgánica.

Laguna de Bacalar

En comparación con el lago Ocotitalito donde los valores de las variables fueron similares, la laguna de Bacalar es un sistema más heterogéneo. La variable que menos fluctuó fue el pH (de 7.8 a 8.3) y la que más varió fue la conductividad (de 2,120 a 2,970 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Tabla 6). Esta variabilidad entre los parámetros ambientales se puede deber a la gran longitud y área superficial de la laguna, en los que debido a sus características limnológicas y la influencia de múltiples factores incluidos la hidrogeoquímica, el impacto humano, entre otros, generan heterogeneidad en el sistema, puesto que cuerpos de agua con una superficie menor tienden a tener en condiciones naturales características similares (Smol, 1992).

De acuerdo a la división que se realizó entre zonas de la laguna, se puede denotar que la conductividad posee los valores más altos (2,940 a 2,970 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en los sitios

tomados hacia el norte de la laguna, seguidos de la zona centro (2,530 a 2,520 $\mu\text{S}/\text{cm}$), hasta el sur que fueron los valores más bajos (2,120 a 2,370 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Dado que el ion dominante en la laguna fueron los sulfatos (≥ 25 meq/L), con los valores más altos hacia el centro de la laguna, son estos los que están influyendo en los valores de conductividad y no es de extrañar ya que Bacalar forma parte a la región de evaporitas, la cual se caracteriza por poseer elevadas concentraciones de SO_4 proveniente de la disolución de yeso (Perry *et al.*, 2002). Por otro lado, los iones Cl^- y Na^+ , se presentaron en mayor concentración en la zona norte de la laguna, con 12.25 meq/L y 8.55 meq/L, respectivamente, iones que en conjunto conforme a Sánchez *et al.* (2015) posiblemente estén relacionados con una mezcla de las aguas subterráneas con aguas marinas; sin embargo, esta probable intrusión de agua salina es contenida por las aguas subterráneas características del sur de Quintana Roo, las cuales contienen un alto contenido de iones de calcio y sulfato (Perry *et al.*, 2009). Otro de los iones abundantes fueron el Ca^{2+} y Mg^{2+} , que de la misma forma que el lago Ocotilito, su presencia se explica por su origen kárstico (Canales, 2015) y están relacionados con los elementos que se encontraron en los sedimentos superficiales de la laguna, como el Sr y Ca, que más adelante se discuten.

Por otro lado, la temperatura registró un rango de 26.5- 33.8°C, ambos valores en la zona centro de la laguna del lado oeste y este, respectivamente (Tabla 6), denotando la heterogeneidad térmica entre sitios en una misma zona. La diferencia entre temperaturas se puede deber a que la hora de muestreo entre los litorales fue distante debido a la gran extensión de la laguna y por ende la gran distancia entre los litorales. En particular el sitio denominado BCE que corresponde a la laguna Mariscal, a pesar de su conectividad con la laguna de Bacalar a través del flujo llamado “Canal de los piratas” representa un entorno diferente en cuanto a parámetros ambientales como la temperatura y la concentración de oxígeno (9.79 mg/L), ambos valores fueron los registros máximos en el muestreo. El pH fue básico con una variabilidad no tan amplia de 7.8 a 8.3; de acuerdo a Schmitter *et al.* (2002) son valores característicos de ambientes kársticos en la península de Yucatán.

La geoquímica elemental de sedimentos superficiales de la laguna, registró el Sr y Ca como los elementos presentes en todos los litorales y en mayores concentraciones, entre 1872.49 ppm a 2405.71 ppm y de 32.25% a 41.04% respectivamente. La presencia de estos elementos, se explica debido a que en la geología del área se localizan formaciones constituidas de yesos, calizas y dolomitas (Ravelo, 2006). Los sedimentos

superficiales son homogéneos, de acuerdo al análisis granulométrico que se realizó, ya que son arenas carbonatadas con los porcentajes más elevados hacia el norte y centro de la laguna (Tabla 9).

Las concentraciones de clorofila-a en ambos lagos se presentaron en bajas concentraciones ($\leq 0.5 \mu\text{g/L}$). Esto se puede deber a que las muestras de agua de este estudio se tomaron en los primeros centímetros de la superficie, y se ha observado que los organismos que componen el fitoplancton se distribuyen de manera vertical en la columna de agua concentrándose en profundidades mayores (Brooks y Torke, 1977). Concorde a esto, Garibay (2018), reporta que el valor de clorofila para el lago Ocotitalito a profundidades ($\geq 5 \text{ m}$), entre 2013 y 2016 fue de $7.3 \mu\text{g/L}$, valor más alto en comparación con el promedio obtenido en este estudio ($0.38 \mu\text{g/L}$). Además, generalmente la clorofila tiende a estar en menor concentración en presencia de abundantes plantas acuáticas (macrófitas), debido a la competencia de nutrientes del medio, tal como sucede con el lago Ocotitalito (Takamura *et al.*, 2003).

A pesar de que ambos cuerpos lacustres son kársticos presentaron diferencias que se ven influidas por la altitud, actividades humanas y la geología del área, la cual tiene una influencia sobre la geoquímica elemental de los sedimentos superficiales y estos a su vez se relacionan con los iones presentes en el agua. Las diferencias no fueron únicamente entre lagos, sino entre sitios, siendo Ocotitalito un tanto más homogéneo en características del agua, pero no en las variables medidas en los sedimentos y Bacalar con sitios heterogéneos en las variables medidas en el agua. Por ello se debe resaltar, la importancia de considerar diferentes sitios dentro de un mismo lago y en futuros estudios tomar en cuenta distintas profundidades a lo largo de diferentes transectos por ejemplo norte-sur, este-oeste, así como distintas temporadas en un mismo año, logrando obtener mayor información sobre los procesos hidrológicos de ambos sistemas lacustres.

10.2 Diversidad de indicadores biológicos en dos lagos kársticos del sureste de México

Entre los grupos taxonómicos la riqueza específica y abundancia fueron mayores y similares entre amebas testadas y ostrácodos (con 19 y 17 taxa, y 1620 y 1529 ind./22.5 cm^3 respectivamente) y menores en los grupos de cladóceros y quironómidos (con 5 taxa de cada grupo y un total de 422 y 539 ind./22.5 cm^3). Asimismo, la diversidad de los grupos de bioindicadores fue mayor ($H' \leq 2.8$ y $D=16.3$) en los sitios del lago Ocotitalito, que

en la laguna de Bacalar ($H' \leq 2.3$ y $D=9.9$), correspondiendo con la riqueza específica y abundancia, ya que en Ocotálito se encontraron 32 taxa con 2570 inds./7.5 cm³ y predominaron las amebas testadas (con 13 especies y variedades, y 1,001 inds./7.5 cm³), mientras que en Bacalar se identificaron 27 taxa (con 1540 inds./15 cm³) de los cuales 14 fueron de ostrácodos (con 850 inds./ 15 cm³), siendo este el grupo dominante en la laguna. Dentro de las características que posiblemente estén influyendo en la diversidad alta de Ocotálito, es porque Ocotálito se distingue por presentar sedimentos oscuros, ricos en materia orgánica (Franco, 2014), que para las amebas testadas representa un medio óptimo y abundan debido a la alta disponibilidad de alimento (Kumar y Patterson, 2000). Otra explicación es que debido a que este lago presenta una gran densidad de vegetación acuática, representa refugio y alimento para las comunidades de organismos acuáticos (Pinder, 1986; Korhola y Rautio, 2002; Szeroczynska, 2002; Ferrington, 2007). En cambio, Bacalar, presentó una mayor riqueza específica ($S=14$) y abundancia (800 inds./15 cm³) de ostrácodos, coincidiendo estos resultados con los de Charqueño (2017), lo cual se relaciona con que el agua de la laguna está dominada por sulfatos, calcio y magnesio, iones importantes en la calcificación de las valvas de estos organismos (Pérez, 2010). Además, Echeverría (2016) señala que la altitud y sus variables asociadas (temperatura y precipitación) son un factor que determina la diversidad y abundancia de especies de ostrácodos, donde a mayor altitud menor diversidad y abundancia, por lo que era de esperar encontrar una menor riqueza específica y abundancia de este grupo taxonómico en el lago Ocotálito que en laguna de Bacalar.

A continuación se discuten los principales cambios en la diversidad de los diferentes grupos taxonómicos estudiados entre lagos, mientras que las diferencias dentro de cada lago, es decir entre sitios de muestreo, se presentan posteriormente en la sección 10.4 (Ensamblajes ecológicos).

Amebas testadas

En este estudio se identificaron 13 taxones, pertenecientes a 5 especies y a 8 variedades, que en comparación con el estudio de Garibay (2018) hay una especie menos y dos variedades más identificadas en el lago Ocotálito. Previo a este estudio, en el lago se habían registrado 12 taxones de amebas testadas en muestras tomadas a diferentes profundidades (5, 7, 25 y 30 m) (Garibay, 2018). En él se reportaron 4 taxa de amebas testadas diferentes a las de este trabajo las cuales son: *Cucurbitella tricuspis*, *Diffugia globula*, *Mediolus corona* y *Centropyxis constricta* var. "aerophila". Las especies y

variedades no reportadas en el estudio previo, son: *Centropyxis constricta* var. “constricta”, *C. constricta* var. “spinosa”, *Cyclopyxis kahli*, *Heleopera sphagni*, *Diffflugia glans* var. “glans”, *D. protaeiformis* var. “acuminata” y *D. urceolata* var. “elongata”. Esta diferencia entre taxones se puede deber, en primera instancia, porque las muestras fueron tomadas en ambos estudios a diferentes profundidades; ya que en este estudio se tomó el sedimento superficial de litoral y en el anterior fue a distintas profundidades. Diversas investigaciones han demostrado que el ensamble de amebas testadas varía de acuerdo a la profundidad, a la cual son altamente sensibles, así como a las variables asociadas como el oxígeno disuelto, el cual disminuye su concentración conforme aumenta la profundidad (Roe *et al.*, 2010; Garibay, 2018). Otra de las razones de esta diferencia, puede deberse a la existencia de analogías en la taxonomía de este grupo que aún no se encuentra desarrollada para los taxones en el área, además de la similitud morfológica entre variedades, tal es el caso de *Diffflugia urceolata* var. “urceolata” y *D. urceolata* var. “elongata”, variedades reportadas en ambos trabajos. Asimismo, en este trabajo se encontró una mayor abundancia de organismos lo que denota que la zona litoral en los lagos representa un hábitat que favorece el desarrollo de grandes poblaciones de amebas testadas (Velho *et al.*, 1999).

En general, el taxón más abundante encontrado en el lago Ocotitalito fue *Centropyxis aculeata* var. “aculeata”, variedad que también fue la más abundante en el estudio de Garibay (2018). No sorprende que esta especie presente tanto en zonas litorales como a diferentes profundidades fuera la ameba testada dominante, debido a que se caracteriza por ser una especie oportunista, indicadora de condiciones extremas, poco favorables, con bajos niveles de oxígeno disuelto y presente en ambientes eutróficos (Patterson y Kumar, 2000; Escobar *et al.*, 2008; Amesbury *et al.*, 2013, Roe y Patterson, 2014). Por otro lado, la variedad menos abundante en el lago fue *Diffflugia glans* var. “glans”, especie considerada oportunista ya que su abundancia aumenta cuando las poblaciones de las demás especies decaen y se asocia con ambientes contaminados (Sigala *et al.*, 2015; Nasser *et al.*, 2016).

En la laguna de Bacalar, este grupo fue el segundo con mayor riqueza específica y abundancia (Tabla 7 y 8). En este caso las especies encontradas no fueron diferentes a las reportadas en la zona centro y sureste de México (Sigala *et al.*, 2015; Echeverría-Galindo, 2017; Garibay, 2018). Cabe señalar que este trabajo es el primero en la laguna de Bacalar y en general en la Península de Yucatán, que incluye el estudio de amebas testadas. En este caso, el taxón más abundante fue *Centropyxis aculeata* var. “discoides”,

especie oportunista de ambientes eutróficos, capaz de sobrevivir en sitios salobres (Patterson *et al.*, 2012; Neville *et al.*, 2010), y la cual ha sido reportada en transiciones de ambientes marinos a agua dulce (Roe y Patterson, 2014). La elevada dominancia de esta variedad se asocia con condiciones altamente estresantes o poco favorables para las amebas testadas (Roe *et al.*, 2010). Por otra parte, las especies menos abundantes se localizaron en la zona sur de la laguna y fueron *Diffflugia bidens* y *Arcella discoides* (Fig. 10). La primera se asocia con el aumento en la entrada de sedimentos y materia orgánica al sistema (Patterson *et al.*, 1996), aparte de aumentar en número en áreas deforestadas en los márgenes del cuerpo lacustre (Patterson y Kumar, 2002). La especie *A. discoides* se caracteriza por tolerar altas conductividades, pH bajos y soportar una gran variabilidad ambiental de su hábitat (Sullivan y Booth, 2011; Escobar *et al.*, 2008).

Cladóceros

La riqueza específica y abundancia de este grupo se encontró mayormente en el lago Ocotitalito, en donde se registraron 4 especies y un total de 421 individuos en todo el lago; mientras que en la laguna de Bacalar se encontró únicamente una especie con 6 ejemplares (Tabla 7 y 8). El análisis de cladóceros en el lago Ocotitalito representa una primera descripción sobre la diversidad actual y abundancia de este grupo.

La población de cladóceros, es generalmente alta al presentarse plantas acuáticas (sumergidas o flotantes) y condiciones de meso a eutróficas en los cuerpos de agua (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2006; Smirnov y Elías-Gutiérrez, 2011). En este caso, el lago Ocotitalito es un sistema mesotrófico (Garibay, 2018) y presenta alta densidad de vegetación acuática de tipo sumergida, lo que podría explicar la gran diferencia de individuos en comparación con los encontrados en la laguna de Bacalar. La especie más abundante en este lago fue *Antholona verrucosa pectinata*, la cual también se encuentra en la Península de Yucatán (Smirnov y Elías-Gutiérrez, 2011), y se relaciona con aguas de tipo permanentes, altos niveles de agua, la presencia de macrófitas (Mendes *et al.*, 2013) y es un microcrustáceo raspador asociado con el perifiton (Elías-Gutiérrez y Suárez-Morales 1999). Las especies menos abundantes fueron *Simocephalus mixtus* y *Eubosmina longispina*; la primera se caracteriza por ser un organismo cosmopolita ya registrado en el sureste de México por Elías-Gutiérrez y colaboradores (2001), filtrador de detritus, hongos y bacterias, común de estanques temporales y permanentes con agua clara y abundantes macrófitas (Coronel *et al.*, 2007). Asimismo, Martínez-Jerónimo *et al.* (2008) la consideran una especie muy sensible para evaluar la toxicidad en el sedimento

de ambientes tropicales. Para *Eubosmina longispina*, se ha reportado que es una especie restringida estacionalmente y su ocurrencia depende de su depredación, más no por las diferencias de hábitat o competencia (De Stasio, 1990).

Particularmente, en la Península de Yucatán, los sistemas de agua dulce son oligotróficos, en este tipo de ambientes la diversidad de cladóceros es alta, pero cada especie está representada por pocos individuos (Smirnov y Elías-Gutiérrez, 2011). En este caso, en la laguna de Bacalar, a diferencia de los trabajos de Charqueño (2017) y Pérez *et al.* (2013) que no reportan la presencia de cladóceros en la laguna, se encontró la especie *Ceriodaphnia cf. dubia*. El género *Ceriodaphnia* todavía es poco conocido en México (Elías-Gutiérrez *et al.*, 1999). Esta especie, que de la misma forma se encontró en el lago Ocotitalo, ha sido reportada para otros cuerpos lacustres cercanos a Bacalar, tal es el caso de la laguna Milagros, ubicada al sur de laguna de Bacalar (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2001). Además, se encuentra en ecosistemas acuáticos de Guatemala y Belice como especie restringida y cladóceros dominante de la fauna acuática de las tierras altas (Pérez *et al.*, 2013). Dicha especie se relaciona con elevadas conductividades (~3500-4000 μ S/cm) (Mount *et al.*, 1997), sitios litorales y pelágicos (Pinel-Alloul y Mimouni, 2013), y es sensible a la toxicidad de iones en el agua (Martínez-Jerónimo *et al.*, 2008).

Ostrácodos

Los ostrácodos, fue el segundo grupo con mayor riqueza específica y abundancia de bioindicadores en el lago Ocotitalo, con un total de 679 individuos, que en su mayoría los registros fueron dominados por las especies *Cytheridella ilosvayi*, *Darwinula stevensoni* y *Strandesia intrepida* (Tabla 7 y 8). Las especies aquí reportadas, coinciden con las ya señaladas en la diversidad faunística del lago Ocotitalo, en los trabajos de Díaz (2015) y Echeverría (2016). La dominancia de las especies *C. ilosvayi* seguida de *D. stevensoni*, indican de acuerdo a sus preferencias ecológicas, que el lago tiene aguas someras y cálidas (Pérez, 2010; Matsuda *et al.*, 2015). Por su parte, *C. ilosvayi* es propia de aguas con temperaturas mayores a los 20°C, es una especie neotropical y abunda en un rango de pH de 7 a 9 (Martens y Behen, 1994), además prefiere conductividades con valores menores de 5,960 μ S/cm y salinidad <3.2 ppm (Lorenschat, 2009; Pérez *et al.*, 2010). Mientras que, la especie *D. stevensoni*, es de distribución cosmopolita, presente en aguas tranquilas con bajas corrientes (Meisch, 2000) y es indicadora de cuerpos de agua con altos niveles de oxígeno (Mezquita *et al.*, 1999), pH alcalinos (Holmes, 1988) y vegetación asociada (Meisch, 2000). Por otro lado, la especie neotropical *Chlamydotheca* sp., fue la

menos abundante en el lago Ocotitalito, y se caracteriza por encontrarse en zonas litorales y presentar hábitos neotobénticos (Meisch, 2000; Díaz y Lopretto, 2011).

En Bacalar, los resultados demuestran que la clase Ostracoda fue la dominante de los microcrustáceos en este cuerpo de agua debido a su alta abundancia por arriba de los registros de los otros grupos de indicadores biológicos analizados (Tabla 7). La especie con mayor número de individuos, pertenece al género *Cypridopsis*. Recientemente, Macario y colaboradores (2018), mencionan que este género para la Península de Yucatán requiere de particular observación y análisis de ADN, ya que logró identificar tres diferentes especies en la zona, las cuales tienen preferencias ecológicas distintas y se pueden correlacionar con aguas altamente perturbadas (porque son tolerantes a amplios cambios de factores ambientales), con elevadas concentraciones de oxígeno y es tolerante a amplios cambios en la conductividad. La especie identificada en este estudio, fue *Cypridopsis vidua* la cual tiene una distribución mundial, es común en la zona neotropical (Cohuo, *et al.*, 2016), se asocia con sedimentos finos (Karanovic, 2012) y es la más frecuente en los cuerpos de agua del sureste de Quintana Roo (Charqueño, 2017). Su presencia y abundancia se asocia con ambientes estresados, aguas profundas (~40 m de profundidad) y salinidades superiores a 4‰ (Pérez *et al.*, 2010; Macario *et al.*, 2018). Además, es tolerante a una gran cantidad de variables, entre ellas: la composición iónica (Smith, 1993; Curry, 1999; Mischke *et al.*, 2010), el pH, la temperatura, concentraciones de oxígeno disuelto, salinidad y conductividad (Külköylüoğlu, 2004; Külköylüoğlu *et al.*, 2007). Otra característica, relacionada con esta especie es su caparazón en forma globular, que le permite nadar entre la vegetación (Roca *et al.*, 1993), por lo que se asocia con la presencia de vegetación acuática, en especial con la planta *Chara fragilis* (Roca y Danielopolol, 1991). Sin embargo, dicha relación y preferencia no ha sido confirmada en la región neotropical mucho menos para el estado de Quintana Roo. En este caso fue dominante en el sitio de la laguna con mayor grado de perturbación por actividad turística (BSO). Por otra parte, la especie menos abundante para ambos cuerpos de agua fue *Potamocypris* sp., la cual habita en la zona litoral con la presencia de vegetación acuática, tolera sequías y se asocia al intercambio de agua con el manto freático o con las aguas subterráneas (Meisch, 2000; Pérez *et al.*, 2010).

Quironómidos

La riqueza y abundancia de quironómidos, fue baja para ambos lagos (Tabla 7 y 8). Sin embargo, en el lago Ocotitalo se identificaron 4 géneros con un total de 474 individuos, por lo que fue el lago con una mayor abundancia de este grupo, ya que en Bacalar únicamente se logró reconocer 1 género y 65 organismos. Los géneros que se encontraron en este estudio, correspondieron con los previamente reportados por Pérez *et al.* (2013) para la Península de Yucatán.

La abundancia y diversidad presente en el lago Ocotitalo se le puede atribuir a que es un lago dominado por vegetación acuática y sedimentos ricos en materia orgánica, a lo cual se asocian los quironómidos (Helson *et al.*, 2006). De la misma forma, la alta abundancia de quironómidos en aguas someras, sugiere que juegan un papel importante en la dinámica trófica de sistemas acuáticos ya que las larvas son depredadas por muchos invertebrados y peces (Menzie, 1981). En específico, las larvas de quironómidos co-ocurren en las macrófitas acuáticas, inclusive algunas especies están adaptadas a ellas. Un ejemplo es la especie *Cricotopus sylvestris*, que está cubierta con numerosas y prominentes setas que podrían adherirse a las hojas, tallos y algas filamentosas, impidiendo que sean lavadas de las plantas. Dicha especie está estrechamente relacionada con la planta acuática *Myriophyllum spicatum* (Menzie, 1981), la cual del mismo género (*Myriophyllum*) es la que domina las aguas del lago Ocotitalo. Igualmente, las macrófitas proporcionan un sustrato más estable, brindan una complejidad trófica (Motta y Uieda, 2005) en la que los quironómidos se benefician con alimento y resguardo de depredadores.

En Bacalar, solo se presentó el género *Coelotanypus*. Cuya larva vive en sedimentos bentónicos de lagos. Se conocen 8 especies en América central y el Caribe (Andersen *et al.*, 2000). Es un género típico de altitudes bajas (Panatta *et al.*, 2007) y no son tan abundantes en el cuerpo de agua donde se encuentren (Roback, 1974). En Bacalar, Pérez *et al.* (2013), encontraron mayor diversidad de quironómidos y al igual que este trabajo reportaron la presencia de *Coelotanypus* en bajas abundancias.

La diferencia entre la diversidad y abundancia de quironómidos entre ambos sistemas lacustres se puede deber también a que la temperatura (variable asociada con la altitud) sea distinta; ya que se ha sugerido que es uno de los principales factores que controlan los patrones de distribución de los quironómidos, a medida de que la temperatura aumenta la abundancia baja, y viceversa (Helson *et al.*, 2006). Las variaciones de temperatura entre Ocotitalo y Bacalar, no fueron amplias, no obstante

Ocotalito tuvo temperaturas relativamente más bajas que Bacalar, donde las temperaturas en la laguna pasaron por arriba de los 26°C (Tabla 6).

10.3 Relación de los taxones con las variables ambientales

En este estudio a través del diagrama de ordenación CCA (Fig. 12) se identificó la relación entre los taxones de los cuatro grupos de bioindicadores y las variables ambientales seleccionadas del PCA (Fig. 11, anexo I). Se encontró que la mayoría de especies de los indicadores biológicos analizados viven en el lago Ocotalito, ubicado en tierras medias (920 m.s.n.m.) y que se caracteriza por sus aguas dominadas por bicarbonatos y con una conductividad mucho menor en comparación con Bacalar. Por otro lado, la laguna se encuentra en tierras bajas (30 m.s.n.m.) con una conductividad más alta y dominancia iónica de sulfatos donde hubo una mayor abundancia de ostrácodos. En general, las comunidades de amebas testadas y ostrácodos parecen tolerar una amplia gama de condiciones ambientales como las variaciones en el contenido iónico del agua, elementos de la geoquímica y la granulometría de sedimentos superficiales en ambos cuerpos de agua. Los taxones de los grupos de cladóceros y quironómidos se asociaron únicamente a los elementos Fe, As y Pb de los sedimentos superficiales en el lago Ocotalito y de manera contraria se puede denotar que pueden no tolerar las altas conductividades y altos contenidos de Ca y Sr así como sedimentos arenosos característicos de Bacalar.

Elementos presentes en los sedimentos superficiales del lago Ocotalito, como el Fe, As y Pb se relacionaron con la distribución de la mayor cantidad de amebas testadas, lo cual se ha observado en otros sitios de estudio como en el noreste de Ontario en Canadá en donde este grupo se caracteriza por ser asociado a la presencia de estos metales pesados (Kumar y Patterson, 2000). Sin embargo, únicamente la presencia de las variedades *Diffflugia glans* var. "glans", *Diffflugia urceolata* var. "elongata" y *Arcella discoides* se relacionaron con esto, ya que son colonizadoras tempranas en ambientes contaminados, siendo *Diffflugia urceolata* var. "elongata" indicadora de una influencia reducida y continua de contaminación por As en la comunidad bentónica (Patterson *et al.*, 1996; Nasser *et al.*, 2016). Las demás especies y variedades tales como *Cyclopyxis kahli* y *Diffflugia oblonga* var. "oblonga" están relacionadas con condiciones de aguas mesotróficas a eutróficas y sustratos ricos en compuestos orgánicos (Roe *et al.*, 2010; Wall *et al.*, 2010; Nasser *et al.*, 2016), mientras que *Mediolus corona* y *Diffflugia bidens*,

son especies de amebas testadas asociadas con la vegetación acuática y con un aumento en el aporte de sedimentos terrígenos al lago por deforestación, respectivamente (Patterson *et al.*, 1996; Patterson y Kumar, 2002; Lahr y López, 2006; Booth y Sullivan, 2007). Por otro lado, al sur de la laguna de Bacalar, los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} , al igual que el Sr y Ca de los sedimentos fueron las variables que contribuyeron a la distribución de amebas testadas en la laguna. Las variedades presentes en la laguna, *Centropyxis aculeata* var. "discoides", *Centropyxis constricta* var. "spinosa", *Centropyxis constricta* var. "constricta" y *Centropyxis constricta* var. "aerophila", se caracterizan por ser amebas testadas eurihalinas, capaces de habitar en ambientes salobres y tolerar ambientes estresantes o poco favorables (van Hengstum *et al.*, 2008; Roe *et al.*, 2010; Roe y Patterson 2014). Cercana al punto de origen del CCA, *C. aculeata* var. "aculeata" confirma que es un organismo tolerante a las variables ambientales consideradas en este estudio, variedad que también se relaciona con condiciones poco favorables y zonas litorales (Escobar *et al.*, 2008; Sigala, 2015; Garibay 2018).

En el caso de los cladóceros y quironómidos, la presencia y concentración de los elementos Fe, As y Pb en los sedimentos superficiales fueron las variables determinantes para su distribución en el lago Ocotitalito. Correspondiendo con la señal del CCA, *Simocephalus mixtus* es un cladóceros que es sensible ante la toxicidad en los sedimentos en ambientes tropicales (Martínez-Jerónimo *et al.*, 2008). No obstante, los demás taxones encontrados de estos grupos se distinguen por ser muy sensibles a la presencia de macrófitas y al estado trófico del lago (Dole-Olivier *et al.*, 2000; Ferrington, 2007); y dada la abundante cubierta vegetal que hay en este lago, puede ser otro de los factores que controlan la distribución tanto de cladóceros como de quironómidos en el lago. Las especies de cladóceros, *Ceriodaphnia dubia* y *Disparalona* cf. *hamata* son típicas de zonas litorales y Pinel-Alloul y Mimouni (2013) señalan que *D. hamata* suele encontrarse en baja incidencia y abundancia, como lo fue en este estudio. Tanto *Anthalona verrucosa pectinata* como *Eubosmina longispina* están asociadas a cuerpos de agua con vegetación acuática, *A. verrucosa pectinata* es un organismo reportado en la Península de Yucatán y está relacionado al perifiton (Elías-Gutiérrez y Suárez-Morales 1999; Mendes *et al.*, 2013) y la ocurrencia de *E. longispina* se restringe por la depredación de invertebrados (De Stasio, 1990). Por otro lado, los quironómidos de los géneros *Lauterborniella/Zavreliella*, *Labrundinia* y *Polypedilum* generalmente son abundantes en los trópicos y subtrópicos, distribuidos en zonas litorales con condiciones eutróficas y viven asociados a macrófitas (Pinder 1986; Röhrig *et al.*, 2004; Laurindo *et al.*, 2014). Un hallazgo interesante de este

estudio fue la presencia de *Cricotopus*, macroinvertebrado que vive adherido con sus setas prominentes a los tallos filamentosos de la planta acuática *Myriophyllum spicatum*, la cual se identificó como abundante en Ocotálito. Este quironómido sirve como agente de control biológico de esta planta ya que se alimenta de sus yemas apicales (Menzie, 1981). También, las larvas de este género son resistentes a desechos como cromo, cobre y cianuros (Pinder, 1986), por lo que su presencia nos puede estar indicando algún tipo de contaminación.

En cuanto a los ostrácodos de la laguna de Bacalar, la conductividad, el sodio, potasio, cloruro, calcio, magnesio y los sulfatos en el agua y el estroncio y calcio en los sedimentos superficiales en la laguna de Bacalar representaron los principales factores que determinaron la distribución de ostrácodos. Las especies *Cyprideis* sp. y *Perissocytheridea cribosa* quedaron restringidas a la zona norte de la laguna y al litoral BCO, donde se encontraron las concentraciones más altas de Na^+K^+ (≤ 8.77 meq/L) y Cl^- (≤ 12.25 meq/L). Estos ostrácodos han sido definidos por Pérez *et al.* (2013) en la península de Yucatán como fauna típica salobre, ya que habitan en sitios con elevadas conductividades y salinidades. El litoral ubicado en la laguna Mariscal (BCE), se caracterizó por poseer la mayor concentración de oxígeno disuelto (9.8 mg/L) y temperatura (33.8°C), la especie *Alicenula* sp. se asoció a este sitio, confirmando que es indicadora de aguas cálidas y se distribuyen en aguas con alto contenido de OD (Macario *et al.*, 2018). *Heterocypris putei* se asoció principalmente con la conductividad, sin embargo esta especie de acuerdo a sus preferencias previamente reportadas se relaciona con zonas litorales de poca profundidad y elevadas concentraciones de HCO_3^- (Charqueño, 2017; Díaz *et al.*, 2017). Al sur de la laguna de Bacalar, los iones en agua Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} y los elementos Sr y Ca en los sedimentos aparentemente son los factores que controlan la presencia de *Cypridopsis vidua*, *Physocypris globula* y *Limnocythere* sp., de las cuales las dos primeras especies tienen alta tolerancia a cambios en la composición iónica del agua y se caracterizan por indicar ambientes estresantes (Curry, 1999; Pérez *et al.*, 2010). El único género de quironómido en Bacalar, *Coelotanypus*, también se relacionó con la composición iónica y elementos de la geoquímica, característicos de la zona sur de Bacalar, este organismo se distribuye en altitudes bajas y es común encontrarlo en baja abundancia (Roback, 1974; Panatta *et al.*, 2007).

En el lago Ocotitalito, se identificó a los bicarbonatos en agua, las arcillas, limos y el Fe, As y Pb, como variables asociadas a algunas especies. En el CCA, se relacionó las especies *Pseudocandona* sp. y *Potamocypris* sp. con elevadas concentraciones de $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, sugiriendo el potencial de dichas especies ante la composición iónica de los lagos, en trabajos previos dichas especies están relacionadas a la presencia de vegetación acuática y con tolerancia a cambios en la precipitación (Díaz, 2015; Echeverría, 2016). Por otra parte, las arcillas determinaron la distribución de *Strandesia intrepida*, especie típica de zonas litorales con aguas bien oxigenadas (Pérez *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2013). Para finalizar, *Cytheridella ilosvayi* y *Darwinula stevensoni* se relacionaron con los limos y los elementos Fe, As y Pb en los sedimentos, no obstante estas especies son propias de aguas someras, cálidas ($>20^\circ\text{C}$) y con pH alcalinos; específicamente *D. stevensoni* también se asocia a vegetación acuática y fondos arenosos o arcillosos (Meisch, 2000; Pérez *et al.*, 2010; Díaz, 2015).

10.4 Ensamblés ecológicos

A pesar de que el número de muestras recolectadas en este estudio no fue grande en comparación con estudios anteriores en la región (p.e. Pérez *et al.*, 2013; Charqueño, 2017), permitió identificar la variabilidad entre los sitios de muestreo de cada cuerpo de agua y entre ellos a partir de los ensamblés ecológicos formados. Resaltando la importancia de considerar en futuros estudios la variación en la distribución de las comunidades de bioindicadores dentro del mismo lago. A partir del análisis de conglomerados en modo Q se agruparon los sitios similares en cuanto a su composición faunística y con el modo R se agrupó a las especies más asociadas entre sí, identificando 4 grupos. Los grupos fueron denominados de acuerdo a las coincidencias en las preferencias ecológicas de los taxa relacionados. Cada uno de los grupos será discutido a detalle más adelante. El grupo 1 posee una baja riqueza y abundancia de organismos, en este se agruparon la mayoría de muestras del estudio y se caracteriza por presentar mayor abundancia de especies indicadoras de altas conductividades. El grupo 2 se caracteriza por presentar un ensamble de especies tolerantes y oportunistas. El grupo 3 por agrupar a especies indicadoras de condiciones mesotróficas. Y por último el grupo 4 en el cual se presentaron especies afines a una alta abundancia de vegetación acuática.

Grupo 1.- Especies indicadoras de altas conductividades

El Grupo 1 se caracterizó por tener una baja riqueza y abundancia de taxones en comparación con las muestras BSO, ONO y OSE. Este grupo se conformó por la mayoría de litorales de la laguna de Bacalar (BNO, BCO, BSE, BNE y BCE) y el sitio ONE del lago Ocotitalito. Es probable que estos sitios representen la abundancia común para ambos cuerpos de agua, sin embargo las tres muestras que no fueron homogéneas (BSO, ONO y OSE) quizá tengan particularidades que propicien la preferencia y abundancia de otras especies, como se discute más adelante. Además se requiere de datos tanto de futuros muestreos actuales en diferentes épocas (en mayor número de muestras) como fósiles (a partir de núcleos sedimentarios) que permitan confirmar a través del tiempo si esta baja abundancia de los taxones es común de estos sitios.

Este ensamble estuvo representado en mayor abundancia por especies como *D. oblonga* var. "spinosa" (100%), *Potamocypris* sp. (88.4%), *Limnocythere opesta* (81.7%), *Heterocypris putei* (56%), *Perissocytheridea cribosa* y *Cyprideis* sp. (39.9%, cada una). En común estas especies se distribuyeron de manera distinta en los litorales diferenciando características particulares entre sitios dentro de los dos cuerpos de agua. Especies como *D. oblonga* var. "spinosa" y *H. putei* fueron características de BCE, sitio con la mayor concentración de sulfatos (28.83 meq/L) y de oxígeno disuelto (9.8 mg/L) en la laguna. Estas especies se asocian con un aguas poco profundas y en el caso de *H. putei* es una especie tolerante a la conductividad (Díaz *et al.*, 2017), y en estudios previos en la región se relacionó con elevadas concentraciones de HCO_3^- (Charqueño, 2017). En la zona norte de la laguna de Bacalar, el sitio BNE, predominaron los ostrácodos como *L. opesta*, *P. cribosa* y *Cyprideis* sp. los cuales, como se mencionó anteriormente, es fauna que tolera altas conductividades y en este caso se encontraron presentes en la zona norte y centro de la laguna con un rango de 2,520 a 2,970 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otro lado, el sitio ONE, del lago Ocotitalito a comparación con los otros dos sitios de muestreo presentó una baja riqueza y abundancia de taxones. Este sitio presentó dominancia de *Potamocypris* sp., especie que habita en la zona litoral con vegetación acuática y se asocia con la entrada y salida del agua subterránea (Díaz, 2015).

Grupo 2.- Especies tolerantes y oportunistas

El Grupo 2 es un grupo que se distingue por presentar un ensamble ecológico formado de especies tolerantes y oportunistas. Este grupo se encontró dominado por taxones que

habitan zonas litorales, con presencia de vegetación acuática y con un pH alcalino. Las especies presentes toleran un amplio rango de salinidad (p.e. *Centropyxis constricta* var. "aerophila" especie eurihalina, van Hengstum *et al.*, 2008), concentraciones bajas de oxígeno disuelto, variaciones hidrogeoquímicas (p.e. *Physocypria globula*, Pérez *et al.* 2010; 2013), sustratos contaminados y condiciones de estrés (p.e. *Diffflugia protaeiformis* var. "amphoralis" y *C. constricta* var. "spinosa", Roe y Patterson 2014; Nasser *et al.*, 2016). El grupo de los ostrácodos fueron los más abundantes, siendo la especie dominante *Cypridopsis vidua* (con 336 inds./2.5cm³), especie cosmopolita y abundante en la región neotropical (Cohuo, *et al.*, 2016; Charqueño, 2017), que se caracteriza por ser uno de los ostrácodos más tolerantes hidroquímicamente y se considera un indicador de ambientes estresantes (Curry, 1999; Macario *et al.*, 2018). Por otra parte, los centropyxidos también dominaron el ensamble ecológico, estas amebas testadas son conocidas por ser oportunistas y capaces de soportar condiciones hostiles (Patterson *et al.*, 1996). Específicamente, *C. aculeata* var. "discoides" y *C. aculeata* "aculeata" fueron las más abundantes y la elevada abundancia de estas variedades ha sido asociada con condiciones lacustres hostiles para las amebas testadas, sustentando un hábitat altamente estresante (Roe *et al.*, 2010).

De manera muy particular este ensamble de especies se registró únicamente en una muestra de la laguna Bacalar, la que correspondió al litoral BSO. Este litoral corresponde al sitio ubicado en el balneario denominado Cocalitos, el cual recibe un afluente turístico muy grande, lo que podría explicar la distribución de este ensamble en este litoral. Zohary y Ostrovsky (2011) señalan que las actividades turísticas generan desestabilización en los ecosistemas, inclusive a nivel local y esto incluye la proliferación de especies oportunistas e invasoras; además el impacto de estas actividades produce pérdida de biodiversidad (Hadwen *et al.*, 2005). Otra posible razón es que la gran longitud de la laguna favorece la creación de microhábitats específicos (Pérez *et al.*, 2013) por lo que no es de sorprender que se llegara a presentar esta diferencia.

Grupo 3.- Especies indicadoras de condiciones mesotróficas

El Grupo 3 se constituye por la muestra tomada del litoral ONO. Grupo con dominancia principal de las variedades de amebas testadas: *Mediolus corona* (100%), *Diffflugia glans* var. "glans" (100%), *Cyclopyxis kahli* (81%) y *Diffflugia oblonga* var. "oblonga" (62%); y del quironómido *Lauterborniella/Zavreliella* (69.3%). Este sitio se encuentra en la zona norte del lago Ocotlito, dentro del Área Natural Protegida y fue el litoral (después del litoral

OSE) con mayor presencia de macrófitas. Los sedimentos de este sitio se distinguieron a diferencia de los otros dos litorales de poseer Pb en valores por debajo del límite de detección, baja concentración de As (5.79 ppm) en los sedimentos y el menor contenido de OD (5.6 mg/L). La respuesta de las especies que conforman este ensamble ecológico se caracterizan por prosperar en sustratos ricos en compuestos orgánicos, cuerpos de agua mesotróficos a eutróficos y con presencia de vegetación acuática. Tanto *M. corona* como las larvas de *Lauterborniella/Zavreliella* se asocian a la vegetación flotante, y en el caso del quironómido se encuentra también en sedimentos de aguas estancadas, zonas litorales y condiciones eutróficas (Lahr y Lopes, 2006; Röhrig *et al.*, 2004). De manera similar *D. oblonga* var. “oblonga” es una especie característica de sedimentos ricos en materia orgánica, como los que se presentan en Ocotalito, y se encuentra estrechamente relacionada con condiciones eutróficas, ya que se correlaciona con el fósforo sedimentario (Patterson y Kumar, 2000; Roe *et al.*, 2010; Nasser *et al.*, 2016). Por otro lado, Nasser *et al.* (2016) reportan que la variedad *D. glans* var. “glans” se asocia con ambientes contaminados, que en este caso podría ser la presencia de As en los sedimentos lo que podría estar influyendo en su ocurrencia dentro de este litoral.

Grupo 4.- Especies indicadoras de abundante vegetación acuática

El Grupo 4 se conformó por el ensamble ecológico que corresponde a las especies que presentan (de acuerdo a sus preferencias ecológicas) una afinidad a sitios con alta presencia de plantas acuáticas. Entre los taxones más abundantes se encontró *Labrundinia* (100%), la cual es abundante en los trópicos y sus larvas están relacionadas con cuerpos de agua con muchas macrófitas (Laurindo *et al.*, 2014). Asimismo las especies como *Simocephalus mixtus* (93%), *Anthalona verrucosa pectinata* (75.2%) y *Cricotopus* (67.9%) son organismos que habitan en sitios con macrófitas y cuerpos de agua caracterizados por tener aguas claras (Pinder, 1986; Coronel *et al.*, 2007; Mendes *et al.*, 2013). Por otro lado, *Ceriodaphnia dubia* (90%) fue una de las especies que caracterizan a este grupo, la cual junto con *S. mixtus* son cladóceros que han sido utilizados para evaluar la toxicidad en los sedimentos y de los iones en el agua en ambientes tropicales, respectivamente (Martínez-Jerónimo *et al.*, 2008).

Este ensamble se distribuyó únicamente en el litoral denominado OSE, litoral del lago Ocotalito donde se encontró la mayor abundancia de macrófitas. Para los cladóceros este sitio representa un hábitat propicio debido a que las plantas acuáticas (en este caso la más abundante y debido a su estructura compleja *Myriophyllum*) pueden funcionar

como refugios ante la depredación de peces, brindándoles protección y también alimentación debido al detritus que se origina por la descomposición de las mismas macrófitas (Bergström *et al.*, 2000; Charqueño, 2017). El litoral OSE se localiza en la parte que no está dentro al Área Natural Protegida y pertenece el ejido Villa de las Rosas. Dentro de las actividades humanas que se pudieron observar en campo fue la deforestación al margen de este litoral. De acuerdo con Bormann *et al.* (1974) los efectos de la deforestación en los sistemas lacustres son desde la exportación de partículas, la erosión del ecosistema y un aumento de nutrientes debido a la movilización de materia orgánica hacia el lago por escurrimientos pluviales. Este aumento de nutrientes propicia un incremento en la biomasa de organismos productores primarios como macrófitas o algas, lo que podría estar explicando la gran abundancia de plantas acuáticas en este litoral. Sin embargo, Cohen *et al.* (1993) menciona que la erosión producida por deforestación, da lugar a la carga excesiva de sedimentos en aguas claras, generando afectaciones a las comunidades acuáticas de los litorales de diversas maneras, entre ellas: la reducción de la penetración de luz por sedimento en suspensión, la disminución del valor nutricional de los detritos y la ausencia de organismos (p.e. ostrácodos) que se alimentan por filtración o aquellos que dependan de la luz solar directamente. Por lo anterior, se sugiere que se evalúe este problema en la región para buscar posibles formas de prevenir o en dado caso mitigar el daño.

A partir de estudiar las preferencias ecológicas de las especies que conformaron los ensambles que se distribuyeron en los nueve sitios de estudio, se determinó que si hay variación entre los sitios dentro de ambos cuerpos de agua y entre ellos. Entre estas diferencias influyeron las variables ambientales que se consideraron en este estudio tales como la conductividad, la composición química del agua y elemental de los sedimentos; sin embargo la respuesta de los grupos es compleja ya que los efectos sobre la diversidad en un sitio dado puede estar relacionados con otras variables no medidas como la identificación, presencia y abundancia de macrófitas (Pinder, 1986; Szeroczynska, 2000; Lahr y Lopes, 2006; Mendes *et al.*, 2013), el contenido de materia orgánica en sedimentos (Wall *et al.*, 2010; Nasser *et al.*, 2016), nutrientes en el agua (Röhrig *et al.*, 2004) y flujos de agua (Meisch, 2000; Pérez, 2010). Además, dado a que este estudio representa uno de los primeros en la región de los neotrópicos en los que se analiza la ecología en conjunto de estos cuatro grupos biológicos, aún falta conocer muchos aspectos taxonómicos, biológicos y ecológicos de estos taxones, que es importante incluir en estudios posteriores. Entre estos aspectos hay que detallar las interacciones bióticas

como la competencia, depredación, estrategias reproductivas, entre otras. Por ejemplo, en el caso de los cladóceros se ha identificado la interacción depredador-presa en la que plantas acuáticas, como el género *Utricularia*, que es una planta carnívora que asemeja la morfología de un cladóceros a través de las vejigas estructuras que mejoran la captura de cladóceros (Albert *et al.*, 2010).

De acuerdo con Alcocer *et al.* (2016), tal como lo describe para el lago de Alchichica en Puebla, México; la zona litoral de los cuerpos lacustres es un ambiente con mucha heterogeneidad en cuanto a sus variables ambientales y por ende en su diversidad, ya que pueden existir microambientes determinados a lo largo del litoral. Es por ello que se requiere en futuras investigaciones un mayor esfuerzo de muestreo del que se realizó en este estudio, específicamente para la laguna de Bacalar, debido a que es un cuerpo de agua con grandes dimensiones inclusive el mayor dentro del estado de Quintana Roo.

Finalmente, el presente estudio también brinda información ecológica de estos cuatro grupos de bioindicadores que puede ser empleada en futuras reconstrucciones ambientales, ya que también son paleobioindicadores por que poseen estructuras que se preservan en los sedimentos; como las testas en el caso de las amebas testadas, los caparazones de los cladóceros, las valvas y caparazones de los ostrácodos y las cápsulas cefálicas de los quironómidos (Payne, 2013).

11. CONCLUSIONES

En general, los dos cuerpos de agua presentaron diferencias en sus variables ambientales como lo son la conductividad, composición química del agua y la composición de sus sedimentos superficiales. Específicamente, los parámetros ambientales en cada sitio de muestreo dentro del lago Ocotitalo fueron homogéneos y únicamente se diferenciaron por las concentraciones de oxígeno disuelto (con una variación máxima de 2 mg/L) y las distintas concentraciones de los elementos Fe, As y Pb en los sedimentos (abundantes en el litoral OSE). En comparación, los litorales de Bacalar fueron más heterogéneos y se distinguieron entre zonas principalmente por la variación en las concentraciones de iones en el agua, distinguiendo la zona norte por las elevadas concentraciones de $\text{Na}^+\text{+K}^+$ y Cl^- , la zona centro por la dominancia de sulfatos y la concentración de oxígeno disuelto; y la zona sur por la baja conductividad, y en general por la concentración alta de los elementos Ca y Sr en los sedimentos.

Las comunidades de amebas testadas, cladóceros, ostrácodos no fueron homogéneas entre los sitios de muestreo. La abundancia de especies fue similar en la mayoría de litorales, en el caso de las muestras BSO de la laguna de Bacalar, ONO y OSE del lago Ocotitalo resaltaron entre los 9 sitios muestreados debido a la gran abundancia que poseen. Los grupos dominantes con mayor riqueza y abundancia en el lago Ocotitalo fueron los cladóceros, quironómidos y amebas testadas, mientras que en Bacalar lo fueron los ostrácodos. Por otra parte, al asociar los taxones con las variables ambientales se obtuvo que altas concentraciones de Fe, As y Pb se relacionaron con amebas testadas, cladóceros y quironómidos, mientras que los ostrácodos con la composición iónica, por ejemplo, altas concentraciones de $\text{Na}^+\text{+K}^+$ y Cl^- con *Cyprideis* sp. y *P. cribosa*, y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ con *Potamocypris* sp. y *Pseudocandona* sp. Además, *S. intrepida* registró una relación con las arcillas. Cabe señalar que las variables medidas en este estudio no fueron suficientes para explicar la distribución, abundancia y riqueza de todos los taxones encontrados, lo cual de acuerdo con las preferencias ecológicas de estos podría estar relacionado con la presencia y abundancia de macrófitas, el contenido de materia orgánica, nivel trófico del cuerpo lacustre y flujos hidrológicos.

En el lago Ocotitalo, el taxón mejor representado fue *C. aculeata* var. "aculeata" lo que podría estar reflejando condiciones eutróficas y hostiles, sugiriendo que el lago, a pesar que una gran parte de su superficie está dentro de un área natural protegida, no representa un ambiente con condiciones favorables para el desarrollo de los ostrácodos. A partir del análisis de conglomerados modo Q, se asoció la distribución de los taxones en

cuatro grupos ecológicos determinados por la abundancia de los diferentes organismos relacionados con la conductividad, ambientes estresantes, el estado trófico de los cuerpos de agua y la presencia de vegetación acuática. Demostrando su utilidad como bioindicadores para caracterizar y comparar sitios de diferentes cuerpos lacustres así como entre sitios dentro de un mismo cuerpo de agua.

Actividades humanas como el turismo y la deforestación en ambos cuerpos de agua, están siendo detectadas por las especies de bioindicadores reportados en el presente estudio, por lo que es fundamental el monitoreo constante para brindar información sobre el efecto que tienen los impactos naturales y humanos sobre estos ecosistemas acuáticos. Además, al lograr la caracterización de estos ambientes se pueden generar estrategias de conservación o manejo en el futuro en la toma de decisiones. Por último, los resultados de esta investigación son de gran utilidad para futuras reconstrucciones paleoambientales locales y regionales. Por último, en futuros trabajos sería interesante plantear un mayor número de sitios de muestreo a lo largo de la zona litoral de ambos cuerpos de agua, específicamente de Bacalar, para así lograr un estudio más representativo sobre la heterogeneidad de este sistema lacustre.

12. LITERATURA CITADA

- Adl, S. M., Simpson, A. G., Lane, C. E., Lukeš, J., Bass, D., Bowser, S. S., ... y Heiss, A. (2012). The revised classification of eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 59(5): 429-514.
- Ahyong, S. T., J. K. Lowry, M. Alonso, R. N. Bamber, G.A. Boxshall, P. Castro, S. Gerken, G. S. Karaman, J. W. Goy, D. S. Jones, K. Meland, D. C. Rogers y J. Svavarsson. (2011). Subphylum Crustacea Brünnich, 1772. En *Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*, Zhang Z. Q. (ed.). Zootaxa 3148:165-191.
- Agenda de Competitividad turística Bacalar (2013) Disponible en línea: https://issuu.com/hitestudio/docs/acdtur_bacalar [12/11/17 15:34 hrs].
- Aguilar Ibarra A. (2005). Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua, *Revista Digital Universitaria* (6):8. 4-7.
- Alamilla Hoyos E.A., Correa Pérez C.G., Góngora Galera M.J., Guillén Durán E. R., Hernández Reina C., Lenz Chaves D., Luna Ruiz S., Méndez Poot R.A. (2013). *Estimación de la biomasa de vegetación sumergida en la Laguna de Bacalar, Quintana Roo, México*. Instituto Tecnológico de Chetumal, Licenciatura en biología. Limnología. Chetumal, Quintana Roo. Disponible en línea: http://www.academia.edu/5555508/Vegetaci%C3%B3n_sumergida [04/02/17 03:50 hrs].
- Albert V.A., Jobson R. W., Michael T. P., Taylor D. J.; The carnivorous bladderwort (Utricularia, Lentibulariaceae): a system inflates. *Journal of Experimental Botany*, 61(1): 5-9.
- Alcocer, J., Escobar, E., Řezničková, P. y Oseguera, L.A. (2016). La comunidad de macroinvertebrados bentónicos litorales como un reflejo de la heterogeneidad ambiental. *Hidrobiológica*, 26 (3): 403-418.
- Amesbury, M. J., Mallon, G., Charman, D. J., Hughes, P. D., Booth, R. K., Daley, T. J., y Garneau, M. (2013). Statistical testing of a new testate amoeba-based transfer function for water-table depth reconstruction on ombrotrophic peatlands in north-eastern Canada and Maine, United States. *Journal of Quaternary Science*, 28(1): 27-39.
- Andersen, T., Contreras-Ramos, A., y Spies, M. (2000). Chironomidae (Diptera). En *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*, Llorente Bousquets, J., Gonzalez Soriano, E. y Papavero, N. (ed.). Universidad Nacional Autónoma de México; 2(1): 580-591.
- Andrade Hernández María (2010). Transformación de los sistemas naturales y actividades antropogénicas. En *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán.*; Durán R. y Méndez M. (eds.). CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA; 316-319
- Baltanás, Á., y Mesquita Joanes, F. (2015). Orden Podocopida. *Revista IDE@-SEA*, 74: 1-10.
- Basterrechea, M. (1986). *Limnología del Lago Amatitlán* (No. C 25759).
- Battarbee R, Jones V, Flower R, Cameron N, Bennion, Carvalho L y Juggins S. (2002) Diatoms. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. *Developments in Paleoenvironmental Research*; 3: 155-202.
- Bergström, S. E., Svensson, J. E., y Westberg, E. (2000). Habitat distribution of zooplankton in relation to macrophytes in an eutrophic lake. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 27(5): 2861-2864.

- Boës X., Rydberg J., Martínez-Cortizas A., Bindler R., y Renberg I. (2011). Evaluation of conservative lithogenic elements (Ti, Zr, Al, and Rb) to study anthropogenic element enrichments in lake sediments. *Journal of Paleolimnology*, 46(1): 75-87.
- Booth, R. K., y Sullivan, M. (2007). *Key of testate amoebae inhabiting Sphagnum-dominated peatlands with an emphasis on taxa preserved in Holocene sediments*. Lehigh University, Bethlehem.
- Bormann, F. H., Likens, G. E., Siccama, T. G., Pierce, R. S., y Eaton, J. S. (1974). The export of nutrients and recovery of stable conditions following deforestation at Hubbard Brook. *Ecological Monographs*, 44(3), 255-277.
- Brooks, A. S., y Torke, B. G. (1977). Vertical and seasonal distribution of chlorophyll a in Lake Michigan. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 34(12): 2280-2287.
- Boyle J. (2000) Rapid elemental analysis of sediment samples by isotope source XRF. *Journal of Paleolimnology*; 23:213-221.
- Boyle J. (2001) Inorganic geochemical methods in palaeolimnology. En Tracking environmental change using lake sediments: physical and geochemical methods, Last, W.M., Smol, J.P. (eds.). Kluwer, Dordrecht, 2: 83-141.
- Cabrera A., Blarasin M. y Maldonado L. (2014). Cuadernos de estudios de aguas subterráneas: edad del agua subterránea. *UniRio editora*, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina; 16-17.
- Canales Flores R. A. (2015) Composición química y tipos de aguas naturales. *Logos Boletín Científico de la Escuela Preparatoria*, Universidad Nacional Autónoma de Hidalgo, 2(3): 1-6.
- Canudo J.I. (2002) Cap. 21 Ostrácodos. En *Micropaleontología*; Molina E. (ed.) Colección textos docentes, 399-418.
- Cañedo Argüelles M., Hawkins C.P., Kefford B.J., Schäfer R.B., Dyack B.J., Brucet S., Buchwalter D., Dunlop J., Frör O., Lazorchak J., Coring E., Fernandez H.R., Goodfellow W., González Achem A.L., Hatfield-Dodds S., Karimov B.K., Mensah P., Olson J.R., Piscart C., Prat N., Ponsa S., Schulz C.J. y Timpano A.J. (2016) Saving freshwater from salts: Ion-specific standards are needed to protect biodiversity. *Science Insights/Perspectives* 351(6276): 914-916.
- Cervantes Martínez, A. (2005). *Análisis limnológico de dos sistemas kársticos (Cenotes) de la Península de Yucatán, México, con énfasis en la variación espacial y temporal del zooplancton*. Tesis de Doctorado. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, 32-58.
- Charqueño Celis Fernanda (2017). *Comparación de las comunidades de microcrustáceos bénticos (Crustacea: Ostracoda y Cladocera) de ecosistemas acuáticos epicontinentales del estado de Quintana Roo, México*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, 1-88.
- Clark I.D. y Fritz P. (1997) Environmental Isotopes in Hydrogeology. *Lewis Publishers* impreso en Press LLC. New York, USA, 8-11.
- Cohen, A. S. (2003) Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems. *Oxford University Press*. Estados Unidos, 2: 3-9.
- 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*. En línea: DOI 10.1007/s10750-016-27-47-1.
- CONABIO (2006). *Capital Natural y Bienestar Social*. México 21-22 pp.
- CONANP (2006) *Programa de Conservación y Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Naha*, México, D.F. Disponible en http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/naha_final.pdf [12/02/17 18:01 hrs].

- CONAGUA (2012). *Programa Hídrico Regional Visión 2030*. Región Hidrológica Administrativa XII Península de Yucatán. 14 p.
- Coronel, J. S., Declerck, S., y Brendonck, L. (2007). High-altitude peatland temporary pools in Bolivia house a high cladoceran diversity. *Wetlands*, 27(4): 1166.
- Correa Metrio, A., Dechnik, Y., Lozano García, S. y Caballero, M. (2014). Detrended correspondence analysis: A useful tool quantify ecological changes from fossil data sets. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 66(1):135-143.
- Croudace, I. W., y Rothwell, R. G. (2015). *Micro-XRF Studies of Sediment Cores: Applications of a non-destructive tool for the environmental sciences*. Springer, 17: 10-16.
- Curry, B. B. (1999). An environmental tolerance index for ostracodes as indicators of physical and chemical factors in aquatic habitats. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 148(1-3): 51-63.
- Deflandre G. (1929). Le genre *Centropyxis* STEIN. *Aich Prohshlenkd* 67: 322-375.
- De Stasio Jr, B. T. (1990). The role of dormancy and emergence patterns in the dynamics of a freshwater zooplankton community. *Limnology and Oceanography*, 35(5): 1079-1090.
- Díaz, A. R., y Lopretto, E. C. (2011). The genus *Chlamydotheca* Saussure (Crustacea: Ostracoda) in northeastern Argentina. *Nauplius*, 19(2): 97-107.
- Díaz Alvarez, K.A. (2015). *Historia ambiental durante el Holoceno en la Selva Lacandona inferida a partir de ostrácodos en sedimentos del lago Ocotulito, Chiapas, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. 77-82 pp.
- Díaz, K.A., Pérez, L., Correa-Metrio, A., Franco-Gaviria, J.F., Echeverría, P., Curtis, J. y Brenner, M. (2017). Holocene environmental history of tropical, mid altitude Lake Ocotulito, México, inferred from ostracodes and non-biological indicators. *The Holocene*. 1-10.
- Dole-Olivier, M. J., Galassi, D. M. P., Marmonier, P., y Des Châtelliers, M. C. (2000). The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater biology*, 44(1): 63-91.
- Dufrêne, M., y Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological monographs*, 67(3): 345-366.
- Echeverría Galindo, P.G. (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., y Suárez-Morales, E. (1999). *Alona pectinata* (Crustacea: Anomopoda; Chydoridae), a new freshwater cladoceran from Southeast Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 47(1): 105-111.
- Elías-Gutiérrez, M., Ciro-Pérez, J., Suárez-Morales, E., y 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., Smirnov, N. N., Suárez-Morales, E., y Dimas-Flores, N. (2001). New and little known cladocerans (Crustacea: Anomopoda) from southeastern Mexico. *Hydrobiologia*, 442(1-3): 41-54.
- Elías-Gutiérrez, M., Kotov, A. A., y Garfias-Espejo, T. (2006). Cladocera (Crustacea: Ctenopoda, Anomopoda) from southern Mexico, Belize and northern Guatemala, with some biogeographical notes. *Zootaxa*, 1119(1): 1-27.
- Elías-Gutiérrez, M., Suárez-Morales, E., Gutiérrez-Aguirre, M.A., Silva-Briano, M., Granados, J. y Garfias, T. (2008). *Cladocera y Copepoda de las aguas continentales de México: Guía ilustrada*. México, UNAM, Facultad de Estudios Superiores-Iztacala, 291-293 pp.

- Epler, J.H. 2001. *Identification Manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. A guide to the taxonomy of the midges of the southeastern United States, including Florida*. Special Publication SJ2001-SP13. North Carolina Department of Environment and Natural Resources, Raleigh, NC, and St. Johns River Water Management District, Palatka, FL. 21-526 pp.
- Escuder R., J. Fraile, S. Jordana, F. Ribera, X. Sánchez-Vila y E. Vázquez Suñé. (2009). Conceptos Básicos de Hidrogeología Subterránea. *Hidrogeología*, FCIHS, Barcelona.
- Escobar, J., Brenner, M., Whitmore, T. J., Kenney, W. F., y Curtis, J. H. (2008). Ecology of testate amoebae (Thecamoebians) in subtropical Florida lakes. *Journal of Paleolimnology*, 40(2), 715-731.
- Fagundo, J. R., Suárez, M., González, P., Fagundo-Sierra, J., y Meleán, C. (2003) Aplicaciones de la Química-Física en la Hidrogeología. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 4: 351-362.
- Ferrington, L. C. (2007). Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; Insecta-Diptera) in freshwater. En *Freshwater Animal Diversity Assessment*. Springer, Dordrecht; 447-455.
- FIR (2005). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar*. José Hernández Nava, Director de las Áreas de Protección de Flora y Fauna Nahá y Metzabok. Prolongación Av. Juárez No. 1085, Colonia La Cañada, Palenque Chiapas, México. C. P. 29960. Disponible en línea: amsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Chiapas/APFF_de_Naha_y_Metzabok.pdf [26/02/17 18:00 hrs].
- Fishbein E. y Patterson T. (1993). Error-Weighted Maximum Likelihood (EWML): A new statistically based method to cluster quantitative micropaleontological data. *Journal Paleontology* 67(3): 475-486.
- Forró, L., Korovchinsky, N. M., Kotov, A. A., y Petrussek, A. (2008). Global diversity of cladocerans (Cladocera; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1): 177-184.
- Furtos, N. (1936). On the Ostracoda from the Cenotes of Yucatan and vicinity. En: *The cenotes of Yucatan, a zoological and hydrographic survey*. Pearse A.S., Creaser EP. Hall FG, et al. (eds.). Washington: Carnegie Institution of Washington, 89-115.
- FrancoGaviria J.F. (2014). *Dinámicas de la vegetación y el clima del Holoceno en la Selva Lacandona, estado de Chiapas, México*. Tesis de maestría. México: Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, UNAM.
- Garibay Velasco M. (2018). *Diversidad de amebas testadas (Amoebozoa:Arcellinida) en lagos de la Selva Lacandona, Chiapas, México*. Tesis de licenciatura. México: Licenciatura en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Gischler E., Golubic S., Gibson M., Oschmann W. & Hudson H. (2011). Microbial Mats and Microbialites in the Freshwater Laguna Bacalar, Yucatan Peninsula, Mexico. *Lecture Notes in Earth Sciences* 131: 187-205.
- Golden Software, Inc. (2012). *CorelDraw X7*. Corel Coporation.
- González Naranjo, V., Boltes, K., de Bustamante, I., y Palacios-Díaz, P. (2015). Environmental risk of combined emerging pollutants in terrestrial environments: chlorophyll a fluorescence analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9): 6920-6931.
- Grosberg R.K., Vermeij G.J. y Wainwright P.C. (2012). Biodiversity in water and on land. *Current Biology* 22(21): R900-R903.
- Hadwen, W. L., Bunn, S. E., Arthington, A. H., y Mosisch, T. D. (2005). Within-lake detection of the effects of tourist activities in the littoral zone of oligotrophic dune lakes. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 8(2): 159-173.

- Hayashi, M. (2004). Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion. *Environmental monitoring and assessment*, 96(1-3): 119-128.
- Heiri, O., Lotter, A. F., y Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, 25(1): 101-110.
- Helson J. E., Williams D. D. y Turner D. (2006) Larval Chironomid community organization in four tropical rivers: human impacts and longitudinal zonation. *Hydrobiologia* 559(1): 413-431.
- Holmes J. A. (2002). Ostracoda. En *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*; Smol J., John H., Birks B. y Last M. (eds.), Zoological indicators. EEUU: Kluwer Academic Publishers, 4: 125-142.
- Holt E.A y Miller S. W. (2010). Bioindicators: Using Organisms to Measure Environment Impacts. *Nature Education Knowledge* 3(10):8.
- Huot, Y., Babin, M., Bruyant, F., Grob, C., Twardowski, M. S., y Claustre, H. (2007). Relationship between photosynthetic parameters and different proxies of phytoplankton biomass in the subtropical ocean. *Biogeosciences*, 4(5): 853-868.
- INEGI (1981). *Guías para la interpretación cartográfica*, Geología. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI (2002). *Estudio Hidrológico del Estado de Quintana Roo*. Disponible en línea: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224196/702825224196_1.pdf consultado el 25 de febrero de 2017.
- Jolliffe, I. (2011). Principal component analysis. En *International encyclopedia of statistical science*; Springer, Berlin, Heidelberg, 1094-1096.
- Jones, B. F., y Bowser, C. J. (1978). The mineralogy and related chemistry of lake sediments. En *Lakes* 179-235. Springer, New York.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2): 363-375.
- Karanovic, I. (2012). Recent freshwater ostracods of the world: Crustacea, Ostracoda, Podocopida. *Springer Science and Business Media*, 18: 214-250.
- Korhola A. y Rautio M. (2002). Cladocera and other branchiopod crustaceans. En *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: zoological indicators*; Smol J., John H., Birks B. y Last M. (eds.), EEUU: Kluwer Academic Publishers; 4: 5-18.
- Kotov, A., Forró, L., Korovchinsky, N.M. y A. Petrusek (2013). World checklist of freshwater Cladocera species. *World Wide Web electronic publication*. Available online at <http://fada.biodiversity.be/group/show/17> [22/04/17 16:10 hrs].
- Kumar A. y Patterson T. (2000). Arcellaceans (Thecamoebians): new tools for monitoring long and short term changes in lake bottom acidity. *Environment Geology*, 39: 689-697.
- 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., Dügel, M., y Kılıç, M. (2007). Ecological requirements of Ostracoda (Crustacea) in a heavily polluted shallow lake, Lake Yeniçağa (Bolu, Turkey). En *Ostracodology—Linking Bio-and Geosciences*; Springer, Dordrecht; 119-133.
- LaBuhn S., Burrows C., Groff C., Neureuther N, Schaal S., Volk J., Flores A., Martinez A.B. y Medina M. (2012). Chemistry and Preliminary Coliform Microbial Communities in Laguna Bacalar, Yucatan Peninsula, Mexico. *International Stromatolite Symposium Proceedings*, 1-17.

- Lahr J. G., y Lopes, S. G. (2006). Morphology, biometry, ecology and biogeography of five species of *Diffugia* Leclerc, 1815 (Arcellinida: Diffugiidae), from Tiete River, Brazil. *Acta Protozool*, 45: 77-90.
- Ladrera Fernández Rubén (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de Información Ambiental* Agosto N° 39. Disponible PDF en línea: Dialnet-LosMacroinvertebradosAcuaticosComoIndicadoresDelEs-4015812.pdf [26/05/17 11:11 hrs].
- Laurindo Silva, F. D., Fonseca-Gessner, A. A., y Ekrem, T. (2014). A taxonomic revision of genus *Labrundinia* Fittkau, 1962 (Diptera: Chironomidae: Tanypodinae). *Zootaxa*, 3769(1): 1-185.
- López Hernández, M., Ramos-Espinosa, M. G., y Carranza-Fraser, J. (2007). Análisis multimétrico para evaluar contaminación en el río Lerma y lago de Chapala, México. *Hidrobiológica*, 17: 17-30.
- López Archilla, A. I., Moreira, D., López-García, P., y Guerrero, C. (2004). Phytoplankton diversity and cyanobacterial dominance in a hypereutrophic shallow lake with biologically produced alkaline pH. *Extremophiles*, 8(2): 109-115.
- Lorenschat, J. (2009). *Ostrakoden aus Hoch- und Tieflandseen in südlichen Guatemala als Bioindikatoren*. Germany: Institut für Umweltgeologie, Technische Universität Braunschweig, 32-76.
- Maberly, S. C. (1996). Diel, episodic and seasonal changes in pH and concentrations of inorganic carbon in a productive lake. *Freshwater Biology*, 35(3): 579-598.
- Macario-González, L., Cohuo, S., Elías-Gutiérrez, M., Vences, M., Pérez, L., y Schwalb, A. (2018). Integrative taxonomy of freshwater ostracodes (Crustacea: Ostracoda) of the Yucatán Peninsula, implications for paleoenvironmental reconstructions in the northern Neotropical region. *Zoologischer Anzeiger*, 4:1-47.
- Martens, K. y Sukonthip, S. (2011). A subjective checklist of the recent, free-living, non-marine Ostracoda (Crustacea). *Zootaxa*. 2855:1-79.
- Martens, K., y Behen, F. (1994). *A checklist of the recent non-marine ostracods (Crustacea, Ostracoda) from the inland waters of South America and adjacent islands*. Musée national d'histoire naturelle.
- Martín Claudia (2015). Buscan conservar la Laguna de Bacalar por su diversidad biológica. Nota periodística en SIPSE Chetumal, Quintana Roo. Disponible en línea: <https://sipse.com/novedades/conanp-quiere-que-laguna-bacalar-sea-protegida-por-importancia-ecosistema-148206.html> [04/02/17 14:52 hrs]
- Martínez Jerónimo, F., Cruz-Cisneros, J. L., y García Hernández, L. (2008). A comparison of the response of *Simocephalus mixtus* (Cladocera) and *Daphnia magna* to contaminated freshwater sediments. *Ecotoxicology and environmental safety*, 71(1): 26-31.
- Mass Vargas Martín Guadalupe (2009). *Laguna de Bacalar* Research. Colegio de Bachilleres Quintana Roo, Plantel Bacalar, Laboratorio de Usos Múltiples. Disponible en línea: http://www.lagunabacalarinstitute.com/Maas-Bacalar_Research.pdf [13/11/2016 12:52 hrs].
- Matsuda, J. T., Martens, K., y Higuti, J. (2015). Diversity of ostracod communities (Crustacea, Ostracoda) across hierarchical spatial levels in a tropical floodplain. *Hydrobiologia*, 762(1): 113-126.
- Meisch C. (2000). *Freshwater Ostracoda of western and central Europe*. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlín, 213-279.
- Medioli F.S. y Scott D.B. (1988) Lacustrine thecamoebians (mainly arcellaceans) a potential tools for palaeolimnological interpretations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology Palaeoecology* 62:361–386.

- Medina Moreno S.A.; Jiménez González, A.; Gutiérrez Rojas, M. y Lizardi-Jiménez, M.A. (2014). Hydrocarbon pollution studies of underwater sinkholes along Quintana Roo as a function of tourism development in the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 13(2): 509-516.
- Mendes Colares, M. A. M., Bonecker, C. C., Simões, N. R., Alves, G. M., y Lansac-Tôha, F. A. (2013). *Structure of the zooplankton communities in macrophytes stand of a Neotropical floodplain (the Paraná River, Brazil)*. *International Review of Hydrobiology*, 98(2), 89-103.
- Menzie, C. A. (1981). Production ecology of *Cricotopus sylvestris* (Fabricius)(Diptera: Chironomidae) in a shallow estuarine cove. *Limnology and Oceanography*, 26(3): 467-481.
- Mezquita, F., Hernandez, R., y Rueda, J. (1999). Ecology and distribution of ostracods in a polluted Mediterranean river. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 148(1-3): 87-103.
- Mischke, S., Almogi-Labin, A., Ortal, R., Rosenfeld, A., Schwab, M. J., y Boomer, I. (2010). Quantitative reconstruction of lake conductivity in the Quaternary of the Near East (Israel) using ostracods. *Journal of Paleolimnology*, 43(4): 667-688.
- Monakov, A. V. (1972). Review of studies on feeding of aquatic invertebrates conducted at the Institute of Biology of Inland Waters, Academy of Science, USSR. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 29(4): 363-383.
- Mook W.G. (2001). *Environmental Isotopes in the hydrogeology cycle. Principles and applications*. UNESCO/IAEA Series No. 39: 55-68.
- Motta, R. L., y Uieda, V. S. (2005). Food web structure in a tropical stream ecosystem. *Austral Ecology*, 30(1): 58-73.
- Mount, D. R., Gulley, D. D., Hockett, J. R., Garrison, T. D., y Evans, J. M. (1997). *Statistical models to predict the toxicity of major ions to Ceriodaphnia dubia, Daphnia magna and Pimephales promelas (fathead minnows)*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(10), 2009-2019.
- Nasser, N.A., Patterson R.T., Roe H.M., Galloway J.M., Falk H., Palmer M.S., Spence C., Sanei H., Macumber A.L. y Neville L.A. (2016). Lacustrine Arcellina (Testate Amoebae) as Bioindicators of Arsenic Contamination. *Environmental Microbiology* 72:130-149.
- Neville L.A., McCarthy F.M.G., MacKinnon M.D., Swindles G.T. y Marlowe P. (2010) Thecamoebians (testate amoebae) as proxies of ecosystem health and reclamation success in constructed wetlands in the oil sands of Alberta, Canada. *The Journal Foraminifera Research* 41:230–247.
- Niemeijer, D., y de Groot, R. S. (2008). A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological indicators*, 8(1): 14-25.
- Ogden G.G. y Hedley R.H. (1980). *An Atlas of Freshwater Testate Amoebae*. British Museum (Natural History), Oxford University Press 24-240.
- Oksanen J. (2018). *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 R.R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Stevesns M.H.H., Szoecs E. y Wagner E. (2018). *Vegan: Community Ecology Package*. R package versión 2.4-1. Disponible en: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Ortiz Javier (2018). Pierde sus "siete colores" la Laguna de Bacalar. Nota periodística en SIPSE Chetumal, Quintana Roo. Disponible en línea: <https://sipse.com/novedades/bacalar-contaminacion-color-calidad-agua-laguna-cuerpo-micro-organismos-afectacion-colores-investigaciones-instituciones-283557.html> [05/06/18 15:47].

- Panatta, Á., Stenert, C., dos Santos, E. M., y Maltchik, L. (2007). Diversity and distribution of chironomid larvae in wetlands in southern Brazil. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 229-242.
- Patterson, R. T., Baker, T., y Burbidge, S. M. (1996). Arcellaceans (thecamoebians) as proxies of arsenic and mercury contamination in northeastern Ontario lakes. *The Journal of Foraminiferal Research*, 26(2): 172-183.
- Patterson R.T. y Kumar A. (2000). Assessment of Arcellacean (Thecamoebian) assemblages, species and strains as contaminant indicators in James Lake, Northeastern Ontario, Canada. *The Journal Foraminifera Research* 30:310–320.
- Patterson T. y Kumar A. (2002). A review of current testate rhizopod (thecamoebian) research in Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180(1): 225–251.
- Patterson, R. T., Roe, H. M., y Swindles, G. T. (2012). Development of an Arcellacea (testate lobose amoebae) based transfer function for sedimentary phosphorus in lakes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 348: 32-44.
- Patterson RT, Lamoureux EDR, Neville LA, Macumber AL (2013) Arcellacea (Testate Lobose Amoebae) as pH Indicators in a pyrite mine-acidified lake, Northeastern Ontario, Canada. *Microbiology Ecology* 65:541–554.
- Payne R. J. y Mitchell E. A. (2009). How many is enough? Determining optimal count totals for ecological and palaeoecological studies of testate amoebae. *Journal of Paleolimnology*, 42(4): 483-495.
- Payne Richard J. (2013). Seven Reasons Why Protists Make Useful Bioindicators. *Acta Protozool* 52:105–113.
- Pérez L. (2005). *Evaluación neo y paleoambiental en lagos kársticos de la Selva Lacandona y Quintana Roo*. Solicitud 2017 al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica IA100317. 12-14.
- Pérez R., Pineda R. y Medina M. (2007). Integridad biótica de ambientes acuáticos. En *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*; Sánchez Ó., Herzing M., Peters E., Márquez-Huitzil R. y Zambrano L. (eds.). Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat), México, 71-77 p.
- Pérez L, Bugja R, Massaferró J, Steeb P, Van Geldern R, Frenzel P, Brenner M, Scharf B, Schwalb (2010). Post-Columbian environmental history of Lago Petén Itzá, Guatemala. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27 (3): 490-507.
- Pérez, L., Frenzel, P., Brenner, M., Escobar, J., Hoelzmann, P., Scharf, B., y Schwalb, A. (2011). Late Quaternary (24–10 ka BP) environmental history of the Neotropical lowlands inferred from ostracodes in sediments of Lago Petén Itzá, Guatemala. *Journal of Paleolimnology*, 46(1): 59.
- Pérez L, J. Lorenschat, J. Massaferró, C. Pailles, F. Sylvestre, W. Hollwedel, G.-O. Brandorff, M. Brenner, G. Islebe, M.S. Lozano, B. Scharf, A. Schwalb (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., y 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., y Velazquez-Oliman, G. (2009). Groundwater geochemistry of the Yucatan Peninsula, Mexico: constraints on stratigraphy and hydrogeology. *Journal of Hydrology*, 367(1-2): 27-40.
- Pinder, L. C. V. (1986). Biology of freshwater Chironomidae. *Annual review of entomology*, 31(1): 1-23.

- Pinel Alloul, B., y Mimouni, E. A. (2013). Are cladoceran diversity and community structure linked to spatial heterogeneity in urban landscapes and pond environments. *Hydrobiologia*, 715(1): 195-212.
- Pineda, V. (2009). Granulometría y Geoquímica de los Sedimentos Marinos en el Área Compreendida entre el Seno Reloncaví y Golfo Corcovado, Chile. *Crucero Cimar 10 Fiordos. Ciencia y Tecnología del Mar*, 32(1): 27-47.
- Postel S. y Carpenter S. (2012) Chapter 11: Freshwater Ecosystems Service. En *Daily G.C. (edit.) Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press. Washington D.C., 195-207.
- Plata A., Araguás L., Avilés J. y Peña R. (2001) Relación entre el lago de Managua (Nicaragua) y las aguas subterráneas de su entorno. Ingeniería Civil. *CEDEX, Centro de estudios de Técnicas Aplicadas*. No. 121. Disponible en: http://hispaqua.cedex.es/sites/default/files/hispaqua_articulo/Ingcivil/2001/121/articulo1/articulo.html#5
- Quinlan, R., Smol, J. P., y Hall, R. I. (1998). Quantitative inferences of past hypolimnetic anoxia in south-central Ontario lakes using fossil midges (Diptera: Chironomidae). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(3): 587-596.
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Ravelo Cervantes Janet Isabel (2006). *Exploración geofísica del acuífero de Puerto Morelos, Quintana Roo*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 1:79.
- Reinhardt E.G., Dalby, A.P, Kumar, A. y Patterson, R.T. (1998). Arcellaceans as pollution indicators in mine tailing contaminated lakes near Cobalt, Ontario, Canada. *Micropaleontology*; 44: 131-148.
- Roback, S. S. (1974). The immature stages of the genus *Coelotanypus* (Chironomidae: Tanypodinae: Coelotanypodini) in North America. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 2: 9-19.
- Roca, J. R. y Danielopol D.L. (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., y 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.
- Rocha Ramírez A., Chávez López R., Ramírez Rojas A. y Cházaro Olvera S. (2012). *Comunidades: métodos de estudio*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, sexta reimpresión, México. 61-166.
- Roe, H. M., Patterson, R. T., y Swindles, G. T. (2010). Controls on the contemporary distribution of lake thecamoebians (testate amoebae) within the Greater Toronto Area and their potential as water quality indicators. *Journal of Paleolimnology*, 43(4): 955-975.
- Roe, H. M., y Patterson, R. T. (2014). Arcellacea (testate amoebae) as bio-indicators of road salt contamination in lakes. *Microbial ecology*, 68(2): 299-313.
- Röhrig, R., Beug, H. J., Trettin, R., y Morgenstern, P. (2004). Subfossil chironomid assemblages as paleoenvironmental indicators in Lake Faulersee (Germany). *Studia quaternaria*, 12: 117-127.
- Rodríguez C.A., Flessa K.W. y Dettman D.L. (2001). *Effects of upstream diversion of Colorado River water on the estuarine bivalve mollusc *Mulinia coloradoensis**: Conservation Biology, Vol. 15: 249-258.

- Rodríguez Martínez J. (2013). *Ecología*. 3ra ed. Editorial Pirámide; Madrid, España; 109-115.
- Rovelo Cervantes, J. (2006). *Exploración geofísica del acuífero de Puerto Morelos, Quintana Roo*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM; 64-68.
- Ruiz F., Abad M., Bondergat A.M., Carbonel P., Rodríguez-Lázaro J. y Yasuhara M. (2005). Marine and brackish-water ostracods as sentinels of anthropogenic impacts. *Earth-Science Reviews* 72(1): 89–111.
- Ruiz F., Abad M., Bondergat A.M., Carbonel P., Rodríguez-Lázaro J., González-Regalado M., Toscano A., García E y Prenda J. (2013). Freshwater ostracods as environmental tracers. *International Journal Environment Science Technology* 10: 1115-1128.
- Ruíz-Moreno J.L., Ospina-Torres R., Gómez-Sierra H. y Riss W. (2000). *Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. III. Subfamilias Tanypodinae, Podonominae y Diamesinae*. *Caldasia* 22(1): 34-60.
- Sánchez-Sánchez, J. A., Álvarez-Legorreta, T., Pacheco-Ávila, J. G., González-Herrera, R. A., y Carrillo-Briebiezca, L. (2015). Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(1): 62-76.
- Schmitter-Soto, J. J., Comín, F. A., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E. y Steinich, B. (2002). Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467(1-3): 215-228.
- Secretaría de Marina (1988). *Manual Operativo de Geología Marina*. Ed. Secretaría de Marina, 73-84.
- Shepard, F. P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: 151-158.
- Sigala I., Caballero, M., Correa-Metrio, A., Lozano-García, S., Vázquez G., Pérez, L., y Zawisza, E. (2017). Basic limnology of 30 continental waterbodies of the Transmexican Volcanic Belt across climatic and environmental gradients. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 69(2): 313-370.
- Siqueiros-Beltrones D., Argumedo Hernández Uri y Hernández-Almeida O. (2013). Diagnósis prospectiva sobre la diversidad de diatomeas epilíticas en la laguna Bacalar, Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 865-875.
- Smol J. (1992). Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management: *Journal of Aquatic Ecosystem Health*. 1: 49–58.
- Smirnov, N. N., y Elías-Gutiérrez, M. (2011). Biocenotic characteristics of some Yucatan lentic water bodies based on invertebrate remains in sediments. *Inland Water Biology*, 4(2): 211-217.
- Smith, A. J. (1993). Lacustrine ostracodes as hydrochemical indicators in lakes of the north-central United States. *Journal of Paleolimnology*, 8(2): 121-134.
- Smith, V. H. (2006). Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. *Limnology and Oceanography*, 51(1part2): 377-384.
- Stefan, H. G., y Fang, X. (1994). Dissolved oxygen model for regional lake analysis. *Ecological Modelling*, 71(1-3): 37-68.
- Sullivan, M. E., y Booth, R. K. (2011). The potential influence of short-term environmental variability on the composition of testate amoeba communities in Sphagnum peatlands. *Microbial Ecology*, 62(1): 80-93.
- Suresh, G., Sutharsan, P., Ramasamy, V., y Venkatachalapathy, R. (2012). Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to

- granulometric contents of Veeranam lake sediments, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 84: 117-124.
- Szeroczynska Krystina (2002). Human impact on lakes recorded in the remains of Cladocera (Crustacea). *Quaternary International*, 95:165–174.
- Takamura, N., Kadono, Y., Fukushima, M., Nakagawa, M., y Kim, B. H. (2003). Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes. *Ecological Research*, 18(4): 381-395.
- Ter Braak, C. J. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5): 1167-1179.
- Ter Braak, C. J. y Verdonschot, P. F. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*, 57(3): 255-289.
- Van Hengstum, P. J., Reinhardt, E. G., Beddows, P. A., Huang, R. J., y Gabriel, J. J. (2008). Thecamoebians (testate amoebae) and foraminifera from three anchialine cenotes in Mexico: Low salinity (1.5–4.5 psu) faunal transitions. *The Journal of Foraminiferal Research*, 38(4): 305-317.
- Vázquez, G., Castro, G., Gonzalez, I., Pérez, R. y Castro, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS*, 60:41-48.
- Velho, L. F. M., Lansac-Tôha, F. A., y Bini, L. M. (1999). Spatial and temporal variation in densities of testate amoebae in the plankton of the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Hydrobiologia*, 411, 103-113.
- Walker I. (2002). Midges: Chironomidae and related Diptera. En *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: zoological indicators*; Smol J., John H., Birks B. y Last M. (eds.), EEUU: Kluwer Academic Publishers, 4:43-51.
- Wall, A. A., Magny, M., Mitchell, E. A., Vannièrè, B., y Gilbert, D. (2010). Response of testate amoeba assemblages to environmental and climatic changes during the Lateglacial–Holocene transition at Lake Lautrey (Jura Mountains, eastern France). *Journal of Quaternary Science*, 25(6): 945-956.
- Walz, R. (2000). Development of environmental indicator systems: experiences from Germany. *Environmental Management*, 25(6): 613-623.
- Williamson C.E., Dodds W., Kratz T. K. y Palmer Margaret (2008). *Lakes and streams as sentinels of environmental change in terrestrial and atmospheric processes*. *Frontiers in Ecology and the Environment*; 6(5): 247–254.
- Zohary, T., y Ostrovsky, I. (2011). Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lakes. *Inland Waters*, 1(1): 47-59.

Anexo I. Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables ambientales de ambos cuerpos de agua.

Análisis de Componentes Principales

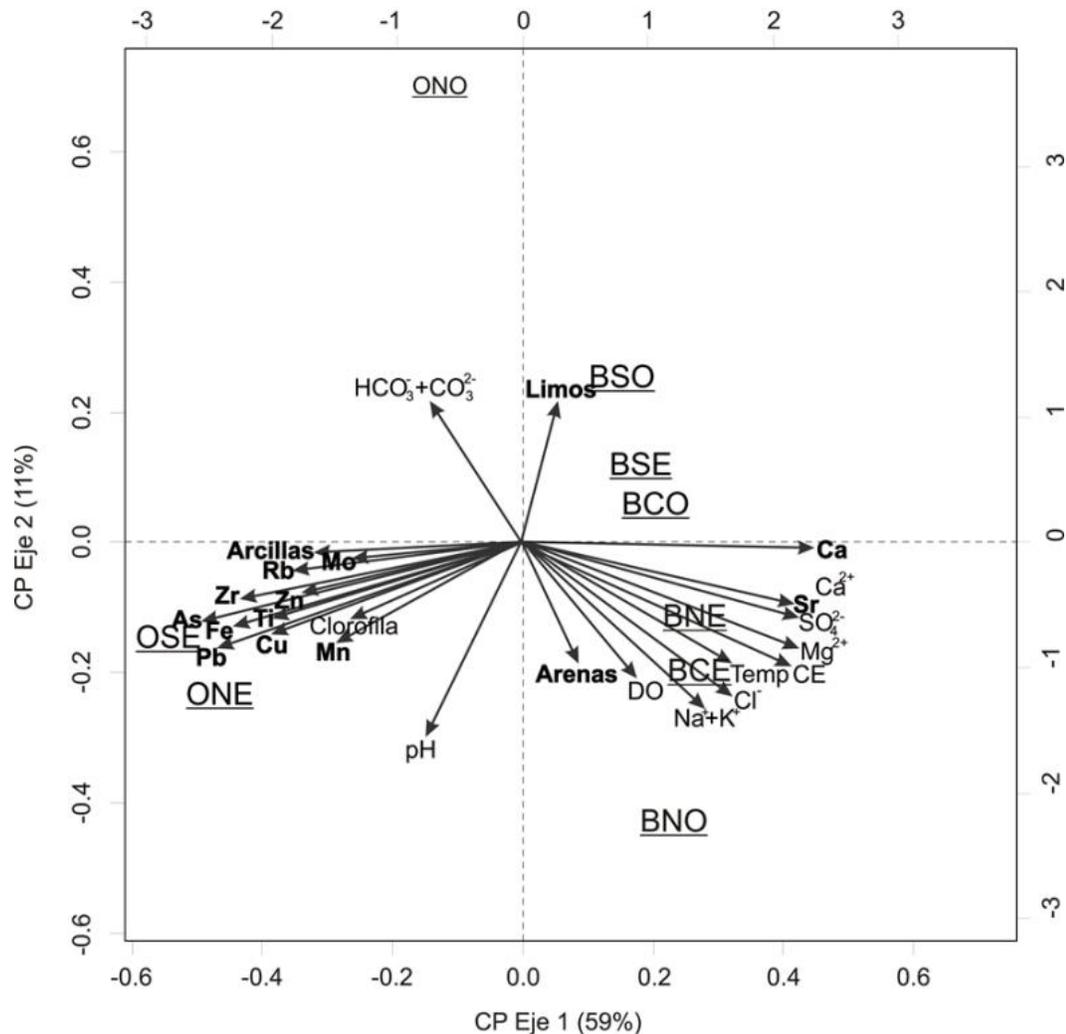


Figura 11. Representación del Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) donde se ordenan los 9 sitios de muestreo estudiados en ambos cuerpos de agua (Ocotalito y Bacalar) con relación a las variables ambientales. Los vectores indican las variables ambientales. Los vectores de las variables en negro son las variables medidas en agua y las negro-negritas son las medidas en sedimentos. Las abreviaciones de los sitios de muestreo (letras subrayadas) corresponden a las establecidas en la Tabla 3. Las abreviaciones de las variables ambientales son: Temp: temperatura; CE: conductividad eléctrica; DO: oxígeno disuelto; pH: pH; Clorofila: clorofila-a; iones presentes en el agua: Na⁺+K⁺: suma de sodio y potasio, Ca²⁺: calcio, Mg²⁺: magnesio, HCO₃⁻+CO₃²⁻: suma de bicarbonatos y carbonatos, Cl⁻: cloruro y SO₄²⁻: sulfatos. Las variables medidas en sedimento (negritas) elementos de geoquímica elemental Zn: zinc, Ca: calcio, Sr: estroncio, Pb: plomo, Ti: titanio, As: arsénico, Fe: hierro, Zr: circonio, Rb: rubidio, Mn: manganeso, Cu: cobre y Mo: molibdeno; y Arenas: arenas, limos: limos y arcillas: arcillas. El CP (Componente principal) Eje 1 explica el 59% de la varianza y el CP Eje 2 explica el 11% de la varianza.

Anexo II. Fotografías del lago Ocotalito.



Figura 14.- Fotografías del lago Ocotalito. Zona norte del lago (A), centro del lago (B), sur del lago (C), litoral ONO (D y G), litoral ONE (E y H) y litoral OSE (F e I).

Anexo III. Fotografías de la laguna de Bacalar.



Figura 15.- Fotografías de la laguna de Bacalar, Quintana Roo, México. Zona Norte Oeste de la laguna (A), litoral BNO (B), Zona Norte Este de la laguna (C), litoral BNE (D), Zona Centro Oeste de la laguna (E) litoral BCO (F), Zona Centro Este de la laguna “Laguna Mariscal” (G), litoral BCE (H), Zona Sur Oeste de la laguna “Cocalitos” (I), litoral BSO (J), Zona Sur Este de la laguna “Rápidos” (K) y litoral BSE (L).

Anexo IV. Abundancia en porcentaje de los taxones según el agrupamiento en el análisis de cúmulos modo Q. El código de cada sitio de muestreo se especifica en la Tabla 4 y los de cada taxón se especifican en la Tabla 10.

	Grupo	1						2	3	4
	Litoral	BNO	BCO	BSE	BNE	BCE	ONE	BSO	ONO	OSE
Amebas testadas	CAD	4.9	13.1	10.5	1.6	2.6	16.7	38.4	12.1	0.0
	CCS	5.6	9.3	5.6	14.8	0.0	0.0	64.8	0.0	0.0
	CAA	3.1	12.9	1.8	2.5	0.4	16.6	17.0	30.9	14.8
	CCC	6.9	0.0	0.0	13.8	17.2	0.0	62.1	0.0	0.0
	CAE	0.0	0.0	7.1	0.0	3.1	0.0	89.8	0.0	0.0
	DBS	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	3.2	52.4	41.1
	ARD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	42.8	49.0
	DOS	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	DOO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	0.0	62.0	0.0
	DGL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
	DPA	0.0	0.0	57.1	0.0	0.0	0.0	42.9	0.0	0.0
	DAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
	DUE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.0	35.0
	MCO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
CYK	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.0	19.0	
Cladóceros	AVE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.8	75.2
	DHA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.7	52.3
	ELO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.2	12.8
	SMI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	93.3
	CDU	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	1.4	90.0
Ostrácodos	DST	11.9	0.0	3.8	0.0	0.0	4.4	0.0	47.3	32.7
	CVI	12.5	1.5	10.8	9.5	0.0	4.5	44.4	14.8	2.0
	PCR	32.7	2.6	0.0	39.9	23.1	0.0	1.8	0.0	0.0
	CIS	15.7	44.4	0.0	39.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	LOP	18.3	0.0	0.0	81.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SIN	1.6	0.0	2.1	0.0	7.4	0.0	21.0	21.4	46.4
	PSE	1.9	0.0	5.7	0.0	19.1	14.6	15.3	34.4	8.9
	LIM	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.6	0.0	0.0
	ALI	0.0	12.7	0.0	28.6	0.0	0.0	23.8	34.9	0.0
	HPU	0.0	0.0	0.0	23.0	56.0	0.0	21.1	0.0	0.0
	CIL	0.0	4.0	1.3	4.4	7.3	12.2	4.8	40.8	25.2
	PGL	0.0	0.0	0.0	0.0	20.2	0.0	79.8	0.0	0.0
POT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88.4	11.6	0.0	0.0	
Quironómidos	QM1	0.0	4.6	27.7	27.7	6.2	0.0	33.8	0.0	0.0
	QM2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.7	0.0	69.3	0.0
	QM3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9	0.0	11.2	67.9
	QM4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.6	60.4
	QM5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0