



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ECOLOGÍA DEL BENTOS DE SEIS  
LAGOS DEL PARQUE NACIONAL  
“LAGUNAS DE MONTEBELLO”,  
CHIAPAS, MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A**

**SANDRA GUADARRAMA HERNÁNDEZ**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. JAVIER ALCOCER DURAND**

**Ciudad Universitaria, CDMX, 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## Hoja de datos del Jurado

1. Datos del alumno.

Guadarrama

Hernández

Sandra

044 55 32466571

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

309029672

2. Datos del Asesor.

Dr.

Javier

Alcocer

Durand

3. Datos del Sinodal 1

Dra.

Liseth Carolina

Pérez

Alvarado

4. Datos del Sinodal 2

M. en C.

Adriana

Gaytán

Caballero

5. Datos del Sinodal 3

Dr.

Alfonso

Lugo

Vázquez

5. Datos del Sinodal 4

Dra.

Vilma Soledad

Ardiles

Gloria

3. Datos de la tesis.

Ecología del bentos de seis lagos del Parque Nacional "Lagunas de Montebello", Chiapas, México

36 pp

2017

4. Palabras clave (temas principales que trata la tesis):

Macroinvertebrados, Bentos profundo, lagos tropicales, lagos Karst

## AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

La presente investigación fue realizada gracias al financiamiento otorgado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IN219215 “Factores que determinan el estado trófico de los lagos de Montebello, Chiapas”. Agradezco la beca que me proporcionó la DGAPA-UNAM para la elaboración de la tesis.

Al Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua (CONAGUA-CONACYT) proyecto “Estudio hidrológico y de calidad del agua del sistema Lagunar de Montebello, en el estado de Chiapas” y a la DGAPA (PAPIIT IN219215) proyecto “Factores que determinan el estado trófico de los lagos de Montebello, Chiapas”. Al Parque Nacional “Lagunas de Montebello”, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Proyectos (CONANP) (Jesús A. León y Roberto Castellanos), comunidad local y Comisarios Ejidales de Antelá, Cárdenas, Miguel Hidalgo, Ojo de Agua y Tzisco por facilitar el acceso a los lagos. Al Comité de Administración de Tzisco (Sergio Marcos y Miguel A. Tomas), al presidente del Comité de Turismo de Tzisco (Armando Hernández), Comisario Ejidal de Tzisco (Enrique M. Hernández), personal del Hotel Villas Tzisco (Rosemberg F. Jorge, Juan G. Espinoza y Gemuel P. Hernández) por su apoyo y facilidades ofrecidas para el desarrollo de este estudio.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ciencias, a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala y al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por brindarme toda la infraestructura académica y compromiso social para poder concluir mis estudios.

Agradezco también, al Dr. Javier Alcocer Durand por explicarme y permitirme ser parte del apasionante campo de la Limnología, por todo su apoyo, conocimiento y dirección de este trabajo. A la Dra. Elva Escobar Briones, por permitir mi estancia en el Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología, por apoyarme e impulsarme a compartir el conocimiento generado para beneficio de la sociedad y el medio ambiente.

A la Dra. Vilma Soledad Ardiles Gloria por todas las observaciones y comentarios que me realizó durante toda mi formación académica, por la comprensión, consejos y gran apoyo que siempre me brindó.

Al Dr. Luis Alberto Oseguera Pérez por todas las lecciones, tanto en el aula como en campo, por su paciencia y dedicación en la toma y procesamiento de datos.

A la Dra. Liseth Carolina Pérez Alvarado por sus observaciones y sugerencias en este trabajo.

A la M. en C. Adriana Gaytán Caballero por ser parte de mi formación en el laboratorio, por todos sus comentarios y guía.

Al Dr. Alfonso Lugo Vázquez por todo su apoyo en la FES-I y sus comentarios en el escrito.

A la M. en C. Elvira Leticia Jiménez Guadarrama y a la M. en C. Esmeralda Morales Domínguez por todas y cada una de sus opiniones, por alentarme a seguir adelante, gracias.

A todos los integrantes del equipo de campo que muestreo los lagos del Parque Nacional “Lagunas de Montebello”, Chiapas, a los del Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología, ICMYL y del laboratorio de Limnología, UIICSE, FES-I.

## DEDICATORIA

Adriana Hernández Cortés y Rafael Guadarrama Mendoza.

**¡Gracias!** Por apoyarme incondicionalmente en cada paso, por siempre impulsarme a dar lo mejor de mí, por ser mi guía y mi soporte, por hacerme saber que, a pesar de las adversidades, uno siempre puede continuar. Gracias, por enseñarme lo maravilloso que es el camino cuando uno le sonrío a la vida.

Naomi y Dante Guadarrama Hernández. **¡Gracias!**, por ser valientes y aventureros, por su tolerancia y amor, pero sobre todo por permitirme aprender a su lado.

A mis abuelos (†) por todas las anécdotas y lecciones de vida que me brindaron.

A toda mi familia Hernández y Burbuja, por compartir momentos de alegría y ser parte fundamental en mi crecimiento.

A Sofi, Carlitos, Susi, Héctor, Karen, Monse, Damián, Giovanni, Beto, Edith y César por ser no solo mi familia sino mis amigos, por su tolerancia, paciencia y gran amor.

A Itzi y Gabriela Guadiana, Valeria Tellez, Joana Cruz, Andrés Orozco, José Zapata, Arturo Roa, Daniel Silva y Edu Varilla por todo su cariño, apoyo, soporte y momentos totalmente increíbles de vida. A Itzel Cadena, Carlos Blanco, Fernando Losoya, David Avilés y Jorge Medina por hacer de mis días universitarios algo inolvidable. **¡Gracias por tanto!**, todos ustedes me demostraron que mis amigos son también mi familia.

A Adri, Claudia, Darién, Dany, Daniel, Erick, Esme, Iris, Itzel, Karla, Karen, Letty, Maya, Nora, Odette, Paco, Sandy, Thalía, Uziel y Vilma. Muchas gracias compañeros y amigos del laboratorio por sus pláticas, risas, apoyo, anécdotas y por hacer los momentos de trabajo más amenos y divertidos.

**¡GRACIAS!** A todas las personas increíbles que han contribuido en mi aprendizaje personal y académico.

## CONTENIDO

Índice de Figuras.....	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT .....	III
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES.....	4
JUSTIFICACIÓN .....	7
OBJETIVOS .....	7
ÁREA DE ESTUDIO.....	8
MATERIAL Y MÉTODO.....	9
Trabajo de campo.....	9
Trabajo de laboratorio.....	11
RESULTADOS.....	13
Caracterización ambiental.....	13
Estructura comunitaria.....	15
DISCUSIÓN .....	23
CONCLUSIÓN .....	30
Literatura citada .....	31

## Índice de Figuras

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL PARQUE NACIONAL LAGUNAS DE MONTEBELLO, CHIAPAS, MÉXICO. SE DENOTAN EN AZUL LOS LAGOS ESTUDIADOS.....	9
FIGURA 2. DENSIDAD PROMEDIO DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PROFUNDOS (2013 EN AZUL Y 2014 EN ROJO) DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS. ....	19
FIGURA 3. COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LA DENSIDAD PROMEDIO DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PROFUNDOS DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS .....	20
FIGURA 4. BIOMASA PROMEDIO DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PROFUNDOS (2013 EN AZUL Y 2014 EN ROJO) DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS.....	21
FIGURA 5. COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LA BIOMASA (PHF) DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PROFUNDOS DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS.....	22

## Índice de Tablas

TABLA 1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS.....	10
TABLA 2. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA DE FONDO DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS.. ....	14
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LOS SEDIMENTOS DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS.....	15
TABLA 4. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PROFUNDOS DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS. ....	16
TABLA 5. RIQUEZA, ABUNDANCIA, DENSIDAD Y BIOMASA DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PROFUNDOS DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS.....	17
TABLA 6. FRECUENCIA DE APARICIÓN DE LOS DIFERENTES TAXA DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PROFUNDOS DE LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS.....	17
TABLA 7. PRESENCIA Ó AUSENCIA DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PROFUNDOS EN LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS. ....	19
TABLA 8. BIOMASA DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PROFUNDOS EN LOS LAGOS DEL PNLN, CHIAPAS.. ....	21
TABLA 9. RIQUEZA TAXONÓMICA Y DENSIDAD DE DIFERENTES LAGOS DEL MUNDO.. ....	24

## **RESUMEN**

El Parque Nacional “Lagunas de Montebello” (PNLM), Chiapas, México, fue reconocido como Sitio RAMSAR en el 2003 y Reserva de la Biósfera en el 2009. Proporciona bienes y servicios ecológicos muy diversos, además de representar uno de los escenarios naturales más bellos a nivel nacional, principalmente por la coloración de sus lagos, los cuales constituyen un complejo lacustre de origen kárstico. Los trabajos de investigación y descriptivos de esta zona son escasos. Para ir subsanando este déficit, la presente investigación incrementa el conocimiento de la ecología de sus recursos acuáticos, al reconocer la composición y estructura de la comunidad bentónica profunda de seis lagos del PNLM (Agua Tinta, Chajchaj, Cinco Lagos, Esmeralda, Patianú y Tzisco). Los lagos seleccionados incluyen tanto impactados (Chajchaj) como prístinos (Agua Tinta, Cinco Lagos, Esmeralda, Patianú y Tzisco). Se realizaron dos muestreos (junio-agosto de 2013 y mayo de 2014) en los cuales se caracterizó ambientalmente la zona profunda de cada lago, registrando temperatura, oxígeno disuelto (OD), pH y conductividad del agua de fondo, así como la textura, contenido de materia orgánica, carbonatos, carbono y nitrógeno elemental del sedimento. Se tomaron por triplicado las muestras de sedimento con una draga tipo Ekman (0.0225 m<sup>2</sup> de área). De los parámetros registrados el OD fue el de mayor fluctuación, variando ampliamente en los muestreos. En 2013, predominó la proporción de arenas y limos, mientras que en 2014 fueron las arcillas. Se identificaron los organismos presentes en la comunidad bentónica profunda y se estimó la riqueza específica, la densidad y la biomasa. La comunidad bentónica profunda de los lagos de Montebello estudiados estuvo compuesta por 8 taxa pertenecientes a 4 fila (Annelida, Nematoda, Arthropoda y Mollusca). La riqueza taxonómica por lago varió de 0 a 3 taxa en 2013 y de 0 a 6 taxa en 2014. La densidad promedio en 2013 varió de 0 a 44 ± 77 ind m<sup>-2</sup>, mientras que en 2014 de 0 a 9,485 ind m<sup>-2</sup>. Los valores de biomasa (expresada en peso húmedo fijado –phf-) fueron bajos, registrándose desde 0 y 8.0 ± 13.9 mg phf m<sup>-2</sup> en 2013 y de 0 a 115.8 mg phf m<sup>-2</sup> en 2014. Oligochaeta (66.7%, 23 ± 38 ind m<sup>-2</sup> y 1.0 ± 1.23 mg phf m<sup>-2</sup> en 2013) y Chironomidae (37.5 %, 3557 ind m<sup>-2</sup> y 26.54 mg phf m<sup>-2</sup> en 2014) fueron los taxa más abundantes. Patianú (profundo) fue el único lago que no presentó organismos y permaneció anóxico en ambos años, por otro lado Esmeralda (somero) a pesar de haber permanecido oxigenado en los dos muestreos solo en uno (2013) se registraron macroinvertebrados bentónicos profundos. Caso opuesto en Cinco Lagos (profundo, ya que se registró una mayor riqueza taxonómica en el año donde estaba anóxico (6 taxa en 2014) comparada con el muestreo donde tuvo OD (1 taxón en 2013). A pesar de que la riqueza taxonómica de los 6 lagos del PNLM fue semejante a otros sistemas lacustres con anoxia en el fondo, es reducida comparada con otros lagos tropicales. Finalmente el presente estudio, refleja una disminución de la fauna bentónica en la zona profunda de los 6 lagos del PNLM por sus condiciones adversas.

## ABSTRACT

The “Lagunas de Montebello” National Park (PNLM by its Spanish acronym), Chiapas, was designated RAMSAR site in 2003 and Biosphere Reserve in 2009. It provides diverse ecological goods and services; at the same time it is one of the most beautiful natural scenery in the country, mainly by the coloration of its water bodies, which constitute a lake complex of karstic origin. There is scarce limnological information regarding this place. The present study deals with the composition and structure of the deep benthic community of six lakes of the PNLM (Agua Tinta, Chajchaj, Cinco Lagos, Esmeralda, Patianú and Tzisco). These lakes include impacted (Chajchaj) and pristine (Agua Tinta, Cinco Lagos, Esmeralda, Patianú and Tzisco). Samples of benthic organisms were taken in June-August 2013 and May 2014; at the same time temperature, dissolved oxygen (DO), pH and conductivity of the water above the bottom were registered, as well as the texture, organic matter content, carbonates, elemental carbon and nitrogen of the sediment. Among the environmental variables, DO was the most fluctuated one. In 2013, the proportion of sands and silts predominated, while clays in 2014. The deep benthic community was composed by 8 taxa belonging to 4 phyla (Annelida, Nematoda, Arthropoda and Mollusca). The taxonomic richness varied from 0 to 3 taxa in 2013 and from 0 to 6 taxa in 2014. The average density in 2013 varied from 0 to  $44 \pm 77$  ind  $m^{-2}$ , and from 0 to  $9,485$  ind  $m^{-2}$  in 2014. Biomass (fixed wet weight -fww-) were low, ranging from 0 and  $8.0 \pm 13.9$  mg fww  $m^{-2}$  in 2013 and from 0 to  $115.8$  mg fww  $m^{-2}$  in 2014. The most abundant taxa were Oligochaeta (66.7%,  $23 \pm 38$  ind  $m^{-2}$  y  $1.0 \pm 1.23$  mg fww  $m^{-2}$  in 2013) and Chironomidae (37.5 %,  $3557$  ind  $m^{-2}$  y  $26.54$  mg fww  $m^{-2}$  in 2014). Patianú (deep lake) remained anoxic in both years and thus lacked organisms in both sampling dates. Even though Esmeralda (shallow lake) remained oxygenated in both dates, benthic macroinvertebrates were present only in 2013. Cinco Lagos (deep), in the year where it was anoxic (2014) there was a higher taxonomic richness (6 taxa) compared to the sampling where it had DO (1 taxon in 2013). The taxonomic richness of the 6 lakes of the PNLM although similar to other lacustrine systems with anoxic bottom, it is small compared to other tropical lakes. This study showed that the deep benthic fauna of these six tropical lakes is controlled by adverse conditions, including long periods of anoxia



## **INTRODUCCIÓN**

México es un país megadiverso el cual alberga diferentes ecosistemas con un variado y alto número de especies de flora y fauna silvestre, algunos de ellos endémicos y distribuidos de forma diferente en todos los estados. Debido a la variedad de climas y a la peculiar geomorfología que lo caracteriza, a lo largo del territorio chiapaneco existe una gran diversidad de ecosistemas acuáticos, que comprenden alrededor del 30% de la red hidrológica del país y representan el sistema hidrológico de mayor extensión en Mesoamérica (CONABIO, 2013).

Designado área natural protegida en 1959, el Parque Nacional “Lagunas de Montebello” (PNLM), Chiapas, fue reconocido como Sitio RAMSAR en 2003 y Reserva de la Biósfera en 2009. Proporciona bienes y servicios ecológicos que incluyen el resguardo del patrimonio genético, la absorción de gases invernadero, la regulación climática regional, el mantenimiento de recursos hídricos como vaso de captación de agua, la conservación de suelos, la preservación de valores paisajísticos, la producción de recursos forestales maderables y no maderables y la estructuración de hábitat para una amplia diversidad de flora y fauna. Representa, además, uno de los escenarios naturales más bellos a nivel nacional, principalmente por la coloración de sus lagos, los cuales constituyen un complejo lacustre de origen kárstico (DOF, 2009; CONANP, 2011).

Las tendencias actuales de crecimiento y desarrollo, sumado a los efectos del cambio climático, predicen que en los próximos 35 años se producirán cambios drásticos en cuanto a la diversidad acuática, contingencias ambientales y escasez de agua (Jackson *et al.*, 2001). Existen diferentes factores que modifican por completo la biodiversidad como son la fragmentación y el cambio en los cauces de los ríos, la desaparición de manglares, selvas y bosques, la disponibilidad de los recursos pesqueros y de agua para uso doméstico, la erosión de las cuencas y la contaminación del agua por desechos de agroindustrias y aguas residuales (Alonso y Camargo, 2005). En este contexto, en Chiapas se han utilizado diferentes sistemas agroindustriales intensivos, lo que ha acarreado graves consecuencias para los

ecosistemas acuáticos (CONABIO, 2013). Esto es, los cuerpos acuáticos del PNLM no han estado exentos de los impactos de las actividades antrópicas, lo cual ha sido evidenciado desde enero de 2003, cuando se presentó en algunos de los lagos un cambio en la coloración de azul cristalino a amarillo verdoso, la presencia de natas blancas-amarillentas, así como un olor fétido a compuestos azufrados, presentándose asimismo, mortandades de peces.

2

Por su dinámica, las aguas epicontinentales erosionan la tierra y disuelven componentes de las rocas y suelos de diferente constitución edafológica, además de alojar gases de la atmósfera en la interface de ambos medios. Existen ciertos estándares nacionales e internacionales que determinan una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos para determinar la calidad del agua, situaciones de impacto y deterioro biótico y abiótico del sistema acuático (Martínez, 1998).

Desde hace 50 años se han utilizado indicadores biológicos para determinar la calidad de agua de los sistemas epicontinentales, entre los cuales se encuentra el bentos. Los organismos bentónicos son buenos indicadores debido a la existencia de una gran diversidad de taxa con requerimientos ecológicos específicos y ciclos de vida cortos, ya que responden rápidamente ante los cambios ambientales (Quiroz *et al.*, 2000; Oscoz *et al.*, 2006).

El bentos está constituido por un grupo de organismos (principalmente oligoquetos, nematodos, copépodos, larvas de insectos) que viven sobre el sustrato o inmersos en él, de distribución variable en todas las zonas (Wetzel, 1981; Horne y Goldman, 1994). Se alimentan principalmente de detrito, diatomeas, bacterias, protozoos y otros invertebrados bentónicos. A su vez, forma parte de la dieta de organismos de niveles tróficos superiores, ayudan a la degradación de la materia orgánica del sedimento liberando nutrientes al medio, constituyendo un enlace entre las rutas tróficas bentónicas y pelágicas (Margalef, 1983; Quiroz *et al.*, 2000; Vander y Vadeboncoeur, 2002).

Esta comunidad, el bentos, incluye grupos de invertebrados que han desarrollado adaptaciones metabólicas que les ayudan a responder a los cambios del medio ambiente y colonizar dicho hábitat (Hamburguer *et al.*, 2000). Por ejemplo, algunas adaptaciones a la

anoxia son desarrollar una mayor cantidad de pigmentos respiratorios específicos (euritrocruorina en oligoquetos, hemoglobina (Hb) en Chironomidae y Hb III en crustáceos), capaces de fijar oxígeno en concentraciones muy bajas y/o la capacidad de obtener energía por medio de la fermentación anaerobia (Weber, 1980; Alonso y Camargo, 2005).

Existen algunas especies de oligoquetos, nematodos, dípteros y moluscos que presentan una elevada resistencia a las perturbaciones y a la contaminación, por lo que, al existir alguna alteración en el ecosistema, pueden incrementar sus densidades, en tanto que las especies más sensibles van desapareciendo (Bazzanti *et al.*, 1998; Alonso y Camargo 2005).

La composición, distribución y abundancia de los organismos bentónicos se encuentra regulada por diversos factores físicos (temperatura, transparencia, velocidad de la corriente, precipitación fluvial, periodo de permanencia del agua, tipo de sustrato y profundidad), químicos (oxígeno disuelto y pH, entre otros) y biológicos (alimento disponible y competencia), los cuales pueden estar actuando en forma individual o en conjunto para producir diferentes respuestas ecológicas en los organismos bentónicos (Wetzel, 1983; Nagorskaya y Keyser, 2005; Pérez *et al.*, 2010).

La comunidad del bentos profundo generalmente se encuentra con una alimentación restringida (p. ej., la sedimentación de organismos del plancton y el aporte horizontal de los ríos), presenta baja densidad y baja diversidad relacionada con el grado de eutrofia y cadenas tróficas cortas. El bentos profundo está constituido de manera muy frecuente por larvas de insectos (Chironomidae principalmente) y sus acompañantes más importantes, los oligoquetos, están más orientados hacia la utilización de material de procedencia exterior o alóctono (Margalef, 1983). Estos dos taxa se han utilizado como indicadores de eutrofia y, en particular, de las condiciones de oxigenación del hipolimnion (CHE, 2005).

## **ANTECEDENTES**

4

Los cambios observados desde 2003 en los lagos se relacionan muy probablemente con el cambio de uso de suelo, ya que desde 1975 hasta la fecha se ha incrementado la tasa de pérdida de los bosques tropicales, donde el destino principal de estas áreas deforestadas ha sido asignado para la producción agrícola, principalmente maíz, jitomate y hortalizas. Debido a los hechos acontecidos, la población denunció lo ocurrido a las autoridades municipales y a la Secretaría de Salud y Asistencia Pública (SSA) del estado, solicitando respuestas, ya que los lagos afectados generaban una pérdida de atractivo turístico influyendo directamente en la economía local (CONAGUA, 2009; CONANP, 2009).

Las investigaciones realizadas en el área de estudio hasta el momento son escasas. Existen principalmente programas para el manejo del parque (Johnson y Nelson, 2004; CONANP y SEMARNAT, 2007), más otras investigaciones como la de Durán (2013) que describió la geomorfología del PNLM.

En el 2009 la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) del PNLM con apoyo de las Consultorías Integrales para el Desarrollo Rural Sustentable S. C. empezaron el “Programa de monitoreo: Estudio para el monitoreo de la calidad de agua de las lagunas en el Parque Nacional Lagunas de Montebello”. Concluyeron que el agua no presentaba altos índices de contaminación y que todos los valores se encontraban dentro de los parámetros máximos permisibles. Sin embargo, agregaron que sí existe un cambio en la coloración del lago Bosque Azul y la Encantada, observándose turbidez en el agua (CONANP, 2009).

En el 2011 la Comisión Federal de Electricidad y la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil y Ciencias de la Tierra realizaron el “Estudio para conocer la calidad del agua de las Lagunas de Montebello, Chiapas” (CFE-GEIC, 2012a). El OD tuvo valores muy bajos en profundidad, en contraste con los datos de las muestras superficiales de fósforo, nitrógeno, sulfuros, DBO y en algunos casos, de las grasas y aceites sugiriendo que podrían existir fenómenos de eutrofización a profundidad de los cuerpos lacustres (CFE-GEIC, 2012b).

El “Programa de Monitoreo de Calidad del Agua” (CONANP, 2011) registró los parámetros de calidad de agua de las lagunas comunicadas con el Sistema lagunar Tepancoapan. Los lagos Agua Tinta y Tziscoa presentaron pH, conductividad eléctrica y temperatura dentro de los límites máximos permisibles.

Existen estudios acerca de la comunidad de macroinvertebrados del PNLM, como los de Sosa (2014) y el de Orozco (2016), que presentan una metodología distinta a la de este trabajo, principalmente son estudios enfocados en la zona litoral de los lagos, y son muestras provenientes en temporada de secas (abril) y de lluvias (septiembre) del año 2013.

Sosa (2014) describió a los macroinvertebrados bentónicos del litoral de trece lagos del PNLM. Dividió los lagos en perturbados (Balantetik, Chajchaj, San Lorenzo, Liquidambar, Bosque Azul y La Encantada), semiconservados (San José, Esmeralda, Península y Agua Tinta) y conservados (Pojoj, Cinco Lagos y Tziscoa). Describió una ligera tendencia hacia el aumento de la abundancia de familias de macroinvertebrados conforme aumentaba el grado de perturbación, en contraste con la diversidad y la riqueza de familias que fueron mayores en los lagos semiconservados. Los anfípodos del género *Hyalella* dominaron en los lagos conservados y semiconservados, mientras que en los lagos perturbados dominaron los quironómidos.

Hernández (2015) evaluó el estado trófico de los lagos utilizando la concentración de clorofila “a” (Clor-a) como *proxi* de la biomasa fitoplanctónica. Catalogó como lagos impactados a Bosque Azul, Chajchaj, Balantetic, Liquidambar, La Encantada y San Lorenzo, mientras que los prístinos fueron Patianú, Esmeralda y Ensueño. Concluyó que el cambio de la coloración de los lagos del PNLM se debía al incremento de la biomasa fitoplanctónica.

Orozco (2016) estudió si las variables fisicoquímicas tenían algún efecto sobre la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del litoral. Concluyó que la conductividad eléctrica y la profundidad del disco de Secchi fueron las variables que tienen un efecto importante sobre la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, los lagos de planicie (p. ej. Chajchaj) eran turbios, con mayor conductividad y valores bajos de Secchi,

mientras que los lagos de montaña (p. ej. Agua Tinta, Cinco Lagos y Esmeralda) eran transparentes, con baja conductividad y valores altos del disco de Secchi. Por otro lado, la riqueza y diversidad de macroinvertebrados acuáticos aumentaba de los lagos de planicie a los lagos de montaña, y la abundancia disminuía. Reportó como dominante a la familia Chironomidae para los lagos de planicie y a las familias Dugesiidae, Scirtidae y Hyalellidae en lagos de montaña.

## JUSTIFICACIÓN

Los lagos de Montebello poseen una gran belleza natural por lo que son un destino turístico importante en Chiapas; sin embargo, como se mencionó anteriormente, desde hace algunos años la coloración de algunos lagos ha cambiado, hay presencia de natas y olores desagradables, así como mortandades de peces, generando con esto preocupación en la población y el Gobierno del Estado. Se desconoce las razones de este cambio y el conocimiento limnológico con el que se cuenta es escaso por lo que no se ha identificado en qué consiste este deterioro ni las causas del mismo. Por lo anterior, es necesario generar el conocimiento base que contribuya a un mejor entendimiento y posterior manejo de los recursos acuáticos que puedan traer a los locales beneficios ecológicos, económicos y sociales. Adicionalmente, el conocimiento que se tiene sobre la comunidad profunda de macroinvertebrados en lagos tropicales kársticos y su ambiente es aún muy escaso. Por lo anterior, el presente estudio pretende contribuir a incrementar el conocimiento sobre la composición y ecología de esta peculiar comunidad.

7

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Describir la ecología de la comunidad macrobentónica profunda en seis lagos del PNLM, Chiapas.

### Objetivos Particulares

- Caracterizar ambientalmente el agua (temperatura, OD, conductividad, pH) y sedimentos (textura, contenido de materia orgánica, carbonatos y carbono y nitrógeno elemental) profundos de los lagos.
- Describir la composición, riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la comunidad bentónica profunda de cada lago.
- Establecer las posibles asociaciones entre la comunidad bentónica profunda y las características ambientales particulares de cada lago.

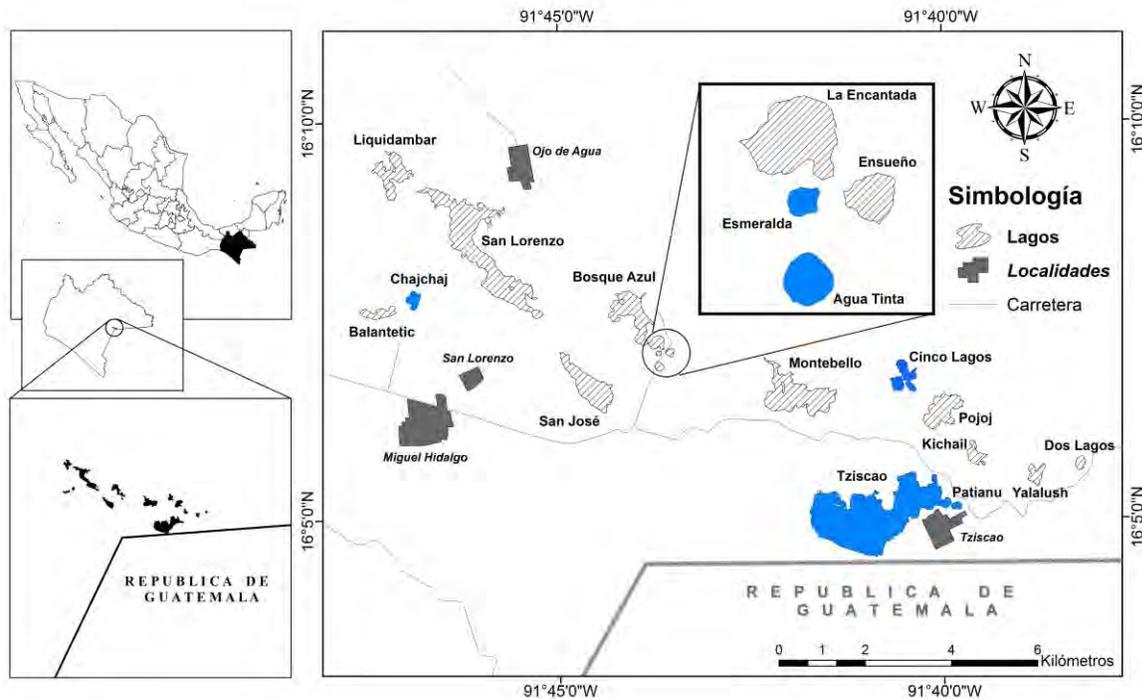
## ÁREA DE ESTUDIO

El PNLN se localiza en la región sureste del estado de Chiapas, en la frontera con Guatemala (Figura 1). Sus coordenadas extremas son 16° 04' 40'' y 16° 10' 20'' de latitud norte y 91° 37' 40'' y 91° 47' 40'' de longitud oeste (CONANP y SEMARNAT, 2007). Se encuentra en la Región Hidrológica Nacional No. 30 Grijalva-Usumacinta, formando parte de la subcuenca del Río Grande de Comitán, que a su vez es parte de la cuenca del Río Lacantún (CONANP y SEMARNAT, 2007; Almeida, 2014).

Según García (1988), el clima de la región es Cb (m) (f) ig, con un verano largo, frío y húmedo, con lluvias todo el año, la temperatura media mensual es de 17.3°C. La precipitación media anual es de 2,279 mm (Alcocer *et al.*, 2016).

Predominan materiales geológicos de origen marino, de lo que se infiere que durante un largo periodo la región estuvo ocupada por mares someros, con depósito de organismos y materiales sedimentarios que al consolidarse formaron rocas calizas. Estas calizas ligeramente plegadas en la zona de Montebello se caracterizan por la karstificación de las rocas, es decir, la disolución de los carbonatos por la actividad química del H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en el agua, sobre todo a lo largo de zonas lábiles, como fracturas, poros e impurezas (CONANP y SEMARNAT, 2007).

En su origen estos lagos constituyeron dolinas o uvalas kársticas, presentando morfologías variables (Durán, 2013). La alimentación de las aguas lacustres es principalmente subterránea, aunque también existe alimentación a través de canales superficiales (Durán *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Ubicación de los lagos estudiados en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México. Se denotan en azul los lagos estudiados. (Modificado de Alcocer *et al.*, 2016).

## MATERIAL Y MÉTODO

### Trabajo de campo

Se seleccionaron 6 lagos: Agua Tinta, Chajchaj, Cinco lagos, Esmeralda, Patianú y Tzisco (Tabla 1), representativos del abanico de características disponible (grandes profundos, grandes someros, pequeños profundos, pequeños someros, limpios e impactados). Se estableció la estación de muestreo en la parte más profunda de cada uno de ellos.

Las profundidades de colecta fueron las siguientes: Agua tinta (19 m en 2013 y 23 m en 2014), Chajchaj (7 m en 2013 y 6 m en 2014), Cinco Lagos (73 m en 2013 y 96 m en 2014), Esmeralda (4 m en 2013 y 5 m en 2014), Patianú (23 m en 2013 y 24 m en 2014) y Tzisco (40 m en 2013 y 60 m en 2014).

**Tabla 1.** Ubicación y características morfométricas de los lagos del PNLM, Chiapas. (Lat: latitud, Long: longitud,  $L_{\max}$ : longitud máxima,  $B_{\max}$ : ancho máximo,  $Z_{\max}$ : profundidad máxima, V: volumen). (Modificado de Alcocer *et al.*, 2016).

Lago	Lat (°N)		Long (°O)		Alt. (m s.n.m.)	$L_{\max}$ (km)	$B_{\max}$ (km)	$Z_{\max}$ (m)	V (km <sup>3</sup> )
Agua Tinta	16.1144	16.1163	91.7272	91.7272	1465	0.21	0.2	24	0.00044
Chajchaj	16.1275	16.1315	91.7798	91.7798	1426	0.45	0.31	12	0.00048
Cinco Lagos	16.1099	16.1165	91.6724	91.6724	1486	0.82	0.6	162	0.01006
Esmeralda	16.1176	16.1186	91.7277	91.7277	1461	0.14	0.11	7	0.00004
Patianú	16.0851	16.0867	91.6627	91.6627	1484	0.26	0.18	26	0.00037
Tziscoa	16.0753	16.0930	91.6649	91.6649	1490	3.2	1.48	86	0.08852

Se realizaron dos campañas de muestreo, la primera del 17 de junio al 6 de agosto de 2013 y la segunda del 18 al 29 de mayo de 2014. Se debe de considerar que las posteriores referencias a los años 2013 y 2014 en el escrito se hacen a los datos obtenidos solo en el día y hora de la colecta en las fechas antes señaladas.

Se caracterizó ambientalmente la zona profunda de cada lago, registrando su profundidad máxima y tomando los parámetros ambientales del último metro (un dato) de la zona cercana al sedimento. Se registraron *in situ* la temperatura, OD, conductividad y pH con una sonda multiparamétrica Hydrolab DS5X.

Las muestras de sedimento se tomaron por triplicado con una draga tipo Ekman (0.0225 m<sup>2</sup> de área, 15 x 15 x 15 cm) y se colectaron los 10 cm superiores de la draga. De la primera muestra de cada lago se extrajeron dos núcleos de sedimento de 3 cm de diámetro, uno para análisis del tamaño de grano (textura) y el otro para determinar el contenido de materia orgánica, carbonatos y carbono y nitrógeno elementales. Por cuestiones de logística (basamento rocoso con ausencia de sedimento) en el muestreo de 2014, en vez de tres solo se pudieron obtener una réplica en Cinco Lagos y dos en Patianú.

El resto de las muestras se destinaron al análisis de la comunidad bentónica y se colocaron en bolsas de polietileno previamente rotuladas. Se les agregó rosa de Bengala como colorante

vital y para fijar las muestras formaldehído en 2013 y etanol en 204, fueron selladas, guardadas en frío y oscuridad para su posterior análisis en el laboratorio.

### **Trabajo de laboratorio**

El análisis textural se realizó con un equipo Láser Beckman Coulter LS230 y se aplicó la escala de Wentworth (1922) para clasificar los sedimentos. Los parámetros texturales del sedimento siguieron los criterios de Folk (1974). Para determinar el porcentaje de materia orgánica (MO) se utilizó la técnica de pérdida de peso por combustión –LOI- (550 °C) (APHA *et al.*, 1985). Para carbonatos se empleó la técnica de acidulación. Para medir el contenido de C y N elementales, las muestras fueron evaluadas con un analizador elemental en el laboratorio de Química de la USAI, Facultad de Química.

Para el análisis de la comunidad bentónica, cada muestra se redujo en volumen con lavados a través de una malla de 250  $\mu\text{m}$  para retener el macrobentos (Gray, 1981; Wetzel, 1981). Una vez separadas, las muestras se mantuvieron fijadas con alcohol al 70% (APHA *et al.*, 1985).

Se revisó un total de treinta y tres muestras. La separación y clasificación de los organismos fue a grandes grupos y se llevó a cabo con la ayuda de pinzas entomológicas, agujas de disección y microscopio estereoscópico a 40x. Una vez separados, los organismos fueron transferidos a viales previamente etiquetados y se conservaron en alcohol al 70%. Para su identificación se utilizaron las claves de Edmondson (1959), Pennak (1978) y Hurlbert y Villalobos (1982). De aquí en adelante se ocupará el termino taxa para designar la categoría más baja a la que se llegó en cada grupo.

Los datos obtenidos se registraron en bitácoras, en físico y electrónicas (hojas de cálculo de Excel). Con los datos obtenidos se determinó la riqueza taxonómica, la abundancia y la densidad de cada lago. La densidad se expresó como la cantidad de organismos encontrados en el área de la draga ( $0.0225 \text{ m}^2$ ) restando para cada primer réplica (R1) el área de los dos núcleos ( $0.0007 \text{ m}^2$ ) y luego extrapolando a un metro cuadrado. La biomasa se calculó en

miligramos de peso húmedo fijado (mg phf) con ayuda de una microbalanza eléctrica de la marca Mettler Toledo Modelo UMX5.

Se aplicaron ANDEVAs de una vía (prueba Tukey) a los datos correspondientes al muestreo del 2013. No se aplicó el mismo análisis a los datos del 2014 ya que el número de réplicas no fue homogéneo en todos los lagos, además de no presentar organismos excepto en una réplica.

## RESULTADOS

### Caracterización ambiental

Los valores de los parámetros fisicoquímicos se presentan en la Tabla 2. La temperatura mostró un intervalo de 18.0 a 23.2°C en 2013 y de 17.9 a 23.0°C en 2014. Los valores más bajos se registraron en Patianú (18.0°C en 2013) y Tzisco (17.9 °C en 2014), en tanto Esmeralda, en ambos años, presentó la mayor temperatura (23.2°C en 2013 y 23.0°C en 2014).

En cuanto al oxígeno disuelto (OD), en 2013 se registraron valores desde 0 a 4.8 mg L<sup>-1</sup> y para 2014 de 0 a 5.4 mg L<sup>-1</sup>. Solo Patianú estuvo anóxico en 2013, mientras que para 2014 solo Esmeralda permaneció oxigenado. Este último lago presentó las concentraciones más elevadas de OD en ambos años (4.8 mg L<sup>-1</sup> en 2013 y 5.4 mg L<sup>-1</sup> en 2014).

La conductividad eléctrica (K<sub>25</sub>) presentó valores en un intervalo de 199 a 416 µS/cm en 2013 y de 245 a 823 µS/cm en 2014. En ambos años Cinco Lagos mostró el valor más bajo (199 µS/cm en 2013 y 245 µS/cm en 2014) y Chajchaj presentó el más alto (416 µS/cm en 2013 y 823 µS/cm en 2014).

Se registró el pH en un intervalo de 7.1 a 7.8 en 2013 y de 7.0 a 7.4 para 2014. Los valores más bajos se registraron en Patianú (7.1 en 2013) y Cinco Lagos (7.0 en 2014) y los más altos se registraron en Esmeralda (7.8 en 2013 y 7.4 en 2014), Agua Tinta Y Chajchaj (7.3 en 2014).

**Tabla 2.** Parámetros fisicoquímicos del agua de fondo de los lagos del PNLN, Chiapas. T = temperatura (°C), OD = oxígeno disuelto (mg L<sup>-1</sup>), K<sub>25</sub> = conductividad (μS/cm), pH= potencial de hidrógeno (unidades de pH)].

	2013				2014			
	T	OD	K <sub>25</sub>	pH	T	OD	K <sub>25</sub>	pH
<b>Agua Tinta</b>	21.4	2.2	321	7.3	20.1	0	373	7.3
<b>Chajchaj</b>	22.5	3.3	416	7.3	22.2	0	823	7.3
<b>Cinco Lagos</b>	18.4	1.3	199	7.3	18.3	0	245	7.0
<b>Esmeralda</b>	23.2	4.8	337	7.8	23.0	5.4	344	7.4
<b>Patianú</b>	18.0	0	294	7.1	18.1	0	279	7.1
<b>Tziscoa</b>	18.3	2.3	243	7.6	17.9	0	250	7.2

Las características del sedimento se presentan en la Tabla 3. Con respecto al análisis textural, se reconoció la presencia de tres tipos de tamaño de grano: arenas, limos y arcillas. Los lagos que en 2013 se caracterizaron por tener mayor proporción en arenas fueron Chajchaj, Cinco Lagos y Esmeralda. Agua Tinta, Patianú y Tziscoa presentaron una proporción más alta en limos. Para el 2014 la mayor proporción de arenas fue de Cinco Lagos, en limos fueron Agua Tinta, Esmeralda, Patianú y Tziscoa y para las arcillas fue Chajchaj.

Los porcentajes de materia orgánica sedimentaria variaron entre 11 y 26% en 2013 y entre 11 y 57% en 2014. El valor más bajo para los dos años lo presentó Chajchaj (11% en 2013 y 2014). El porcentaje más alto lo presentaron Tziscoa (26% en 2013) y Cinco lagos (26% en 2013 y 57% en 2014).

El porcentaje de carbonatos sedimentarios de los lagos varió de 0.5 a 63.6% en 2013 y de 7.8 a 97.1% en el 2014. Los valores más bajos en ambos años los presentó Chajchaj (0.5% en 2013 y 7.8% en 2014), mientras que los valores más altos se encontraron en Cinco Lagos (63.6% en 2013 y 97.1% en 2014).

El porcentaje de carbono elemental varió de 2.1 en Chajchaj a 19.8% en Cinco Lagos en el 2013 y de 1.7 en Esmeralda a 25% en Cinco Lagos en el 2014. El porcentaje de nitrógeno elemental varió en el 2013 entre 0.4 y 1.2% para Chajchaj y Cinco Lagos, respectivamente. En

el 2014 el valor más bajo lo presentó Esmeralda (0.3%) y el valor más alto Cinco lagos (2.3% en 2014).

**Tabla 3.** Características ambientales de los sedimentos de los lagos del PNLM, Chiapas. (A = arenas, L = limos, a = arcillas, CO<sub>3</sub> = carbonatos, MO = materia orgánica, C = carbono elemental, N = nitrógeno elemental. Todas las unidades de estas características están en %).

Lago	2013							2014						
	A	L	a	CO <sub>3</sub>	MO	C	N	A	L	a	CO <sub>3</sub>	MO	C	N
<b>Agua Tinta</b>	26.4	69.7	3.9	47.3	21	7.8	0.9	37	55.3	7.8	82.9	40	20.1	1.4
<b>Chajchaj</b>	88.5	11.3	0.2	0.5	11	2.1	0.4	0	46.7	53.3	7.8	11	1.9	0.8
<b>Cinco Lagos</b>	92.2	7.6	0.2	63.6	26	19.8	1.2	88.9	10.5	0.7	97.1	57	25.0	2.3
<b>Esmeralda</b>	63.5	34.2	2.4	2.0	17	12.0	0.5	11.3	64.7	24.0	16.9	16	1.7	0.3
<b>Patianú</b>	2.7	76.2	21.0	2.6	19	5.3	0.5	0.3	63.9	35.8	19.7	19	5.7	0.6
<b>Tzisco</b>	10.4	80.2	9.4	4.6	26	9.4	1.0	2.4	77.6	20.0	60.7	23	8.9	0.9

**Estructura comunitaria**

**Composición taxonómica.** Se obtuvieron un total de 209 organismos de los cuales se reconocieron 4 fila: Annelida, Nematoda, Arthropoda y Mollusca (Tabla 4).

La riqueza taxonómica fue de ocho grupos para la zona profunda de los seis lagos estudiados (Tabla 5). La riqueza taxonómica promedio en el 2013 presentó un intervalo de 0 a 3 taxa y para el 2014 fue de 0 a 6 taxa. Patianú representó la menor riqueza taxonómica ya que no presentó organismos en ninguno de los dos muestreos, mientras que Esmeralda con 3 taxones representó la mayor riqueza del 2013. En el 2014 Agua Tinta, Chajchaj, Esmeralda, Patianú y Tzisco no presentaron organismos mientras que Cinco Lagos con 6 taxa mostró la mayor riqueza taxonómica de los dos muestreos.

**Tabla 4.** Clasificación taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos profundos de los lagos del PNLM, Chiapas. (De acuerdo a Edmondson, 1959 y Pennak, 1978; \* = Crustacea, según Martin y Davis, 2001).

Phylum	Subphylum	Clase	Subclase	Superorden	Orden	Familia	Nombre común
<b>Annelida</b>		Clitellata	Oligochaeta				Oligoqueto
<b>Nematoda</b>							Nemátodo
	Crustacea*	Maxillopoda	Copepoda <b>Infraclase:</b> Neocopepoda	Podoplea	Harpacticoida		Copépodo harpaticoide
<b>Arthropoda</b>		Ostracoda					Ostrácodo
	Cheliceriformes	Chelicerata	Arachnida		Acari		Ácaro
	Hexapoda	Insecta			Diptera	Chironomidae	Quironómido
<b>Mollusca</b>		Gastropoda					Gasterópodo
		Bivalvia					Bivalvo

**Tabla 5.** Riqueza (S), abundancia (Ab), Densidad (Den) y Biomasa (Biom) de los macroinvertebrados bentónicos profundos de los lagos del PNLM, Chiapas.

Lago	S		Ab		Den (ind m <sup>-2</sup> )		Biom (mg phf m <sup>-2</sup> )	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
<b>Agua Tinta</b>	2	0	1.0 ± 1.7	0	44 ± 77	0	1.2 ± 2.1	0
<b>Chajchaj</b>	1	0	0.3 ± 0.6	0	16 ± 27	0	0.5 ± 0.9	0
<b>Cinco Lagos</b>	1	6	0.3 ± 0.6	200	16 ± 27	9485	0.1 ± 0.2	115.8
<b>Esmeralda</b>	3	0	1.0 ± 1.7	0	44 ± 77	0	5.3 ± 9.1	0
<b>Patianú</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Tziscoa</b>	1	0	0.3 ± 0.6	0	15 ± 26	0	8.0 ± 13.9	0

La frecuencia de aparición de los diferentes taxa se presenta en la Tabla 6. Ningún taxón se presentó en el mismo lago en ambos muestreos.

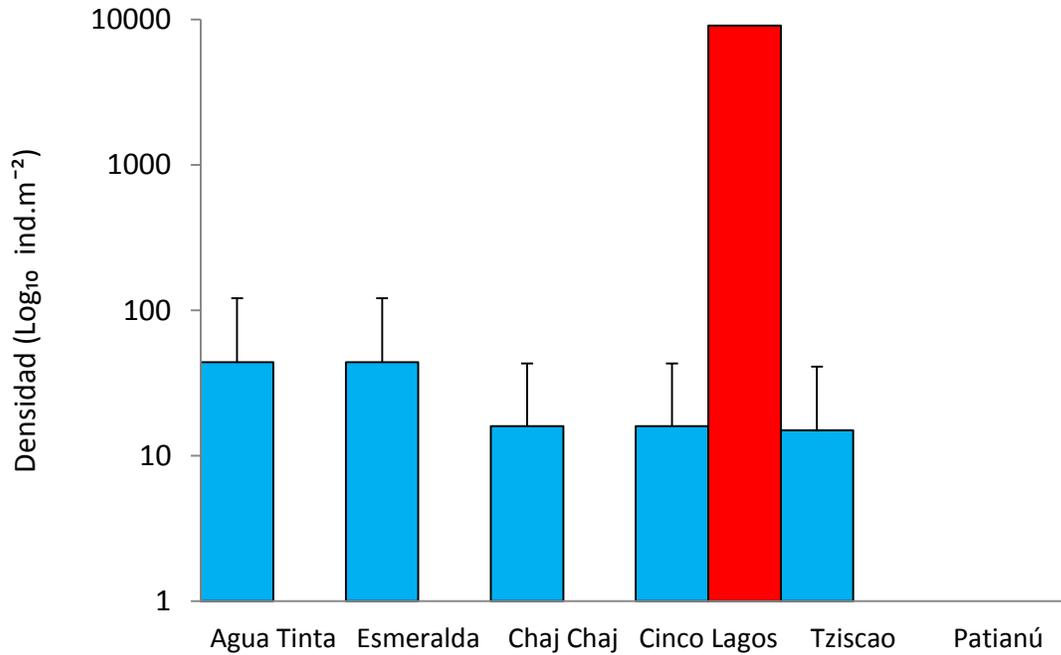
**Tabla 6.** Frecuencia de aparición de los diferentes taxa de los macroinvertebrados bentónicos profundos de los lagos del PNLM, Chiapas.

Taxa	Frecuencia relativa (%)					
	Agua Tinta	Chajchaj	Cinco Lagos	Esmeralda	Patianú	Tziscoa
Oligochaeta	39	39	0	0	0	0
Nematoda	39	0	59	39	0	39
Harpacticoida	0	0	59	0	0	0
Ostracoda	0	0	59	0	0	0
Acari	0	0	59	0	0	0
Chironomidae	0	0	59	39	0	0
Gastropoda	0	0	59	0	0	0
Bivalvia	0	0	59	39	0	0

**Abundancia.** En general la abundancia de organismos fue baja, variando en 2013 de 0 a  $1 \pm 1.7$  organismos con un promedio de  $0.5 \pm 1.0$  organismos y en 2014 con un intervalo de 0 a 200 con un promedio de  $13.3 \pm 51.6$  organismos (Tabla 5). En el 2013 no se encontraron organismos en Patianú, siendo el registro más alto de  $1.0 \pm 1.7$  organismos encontrado en Agua Tinta y Esmeralda. En el 2014 no se registraron organismos en 5 de los 6 lagos en estudio, siendo Cinco Lagos el único que presentó macroinvertebrados bentónicos profundos con un total de 200 organismos.

La abundancia promedio menor del 2013 fue en Cinco lagos, con un organismo de Bivalvia. Los lagos con mayor abundancia promedio del 2013 fueron: Agua Tinta con un total de tres organismos siendo Oligochaeta el taxón que contribuyó con la mayor abundancia (66.7%) y Esmeralda, con un total de tres organismos (Nematoda, Chironomidae y Bivalvia, 33% cada uno). Cinco Lagos en 2014 presentó un total de 200 organismos siendo los Chironomidae los más abundantes (37.5 %) del total de los organismos colectados.

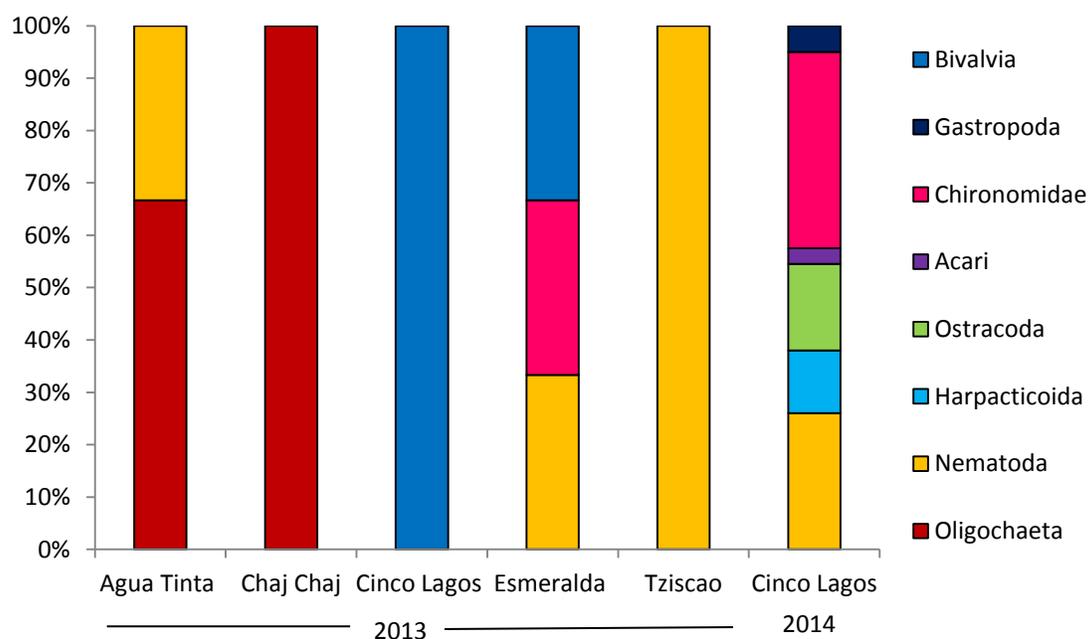
**Densidad.** La densidad en general fue baja en 2013 con un promedio de  $23 \pm 44$  ind  $m^{-2}$  y en 2014 con  $632 \pm 2,449$  ind  $m^{-2}$ . En el 2013 los valores de densidad fluctuaron entre 0 y  $44 \pm 77$  ind  $m^{-2}$ , con el valor más bajo Patianú y los más altos en Agua Tinta y Esmeralda (con  $44 \pm 77$  ind  $m^{-2}$ ) (Tabla 5, Figura 2). No se presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los seis lagos en 2013. En el 2014 los valores registrados fueron entre 0 y  $9,485$  ind  $m^{-2}$  (Figura 3), siendo Cinco Lagos el único con fauna bentónica en ese muestreo (Tabla 7).



**Figura 2.** Densidad promedio ( $\pm$  d. e.) de los macroinvertebrados bentónicos profundos (2013 en azul y 2014 en rojo) de los lagos del PNLM, Chiapas. (Cinco Lagos en 2014 no presenta d.e. debido a que solo se pudo coleccionar una muestra).

**Tabla 7.** Presencia (X) y Ausencia (-) de los macroinvertebrados bentónicos profundos en los lagos del PNLM, Chiapas. (2013 en azul y 2014 en rojo).

Taxa	Agua Tinta	Chajchaj	Cinco Lagos		Esmeralda	Tziscão
	2013	2013	2013	2014	2013	2013
Oligochaeta	X	X	-	-	-	-
Nematoda	X	-	-	X	X	X
Harpacticoida	-	-	-	X	-	-
Ostracoda	-	-	-	X	-	-
Acari	-	-	-	X	-	-
Chironomidae	-	-	-	X	X	-
Gastropoda	-	-	-	X	-	-
Bivalvia	-	-	X	-	X	-

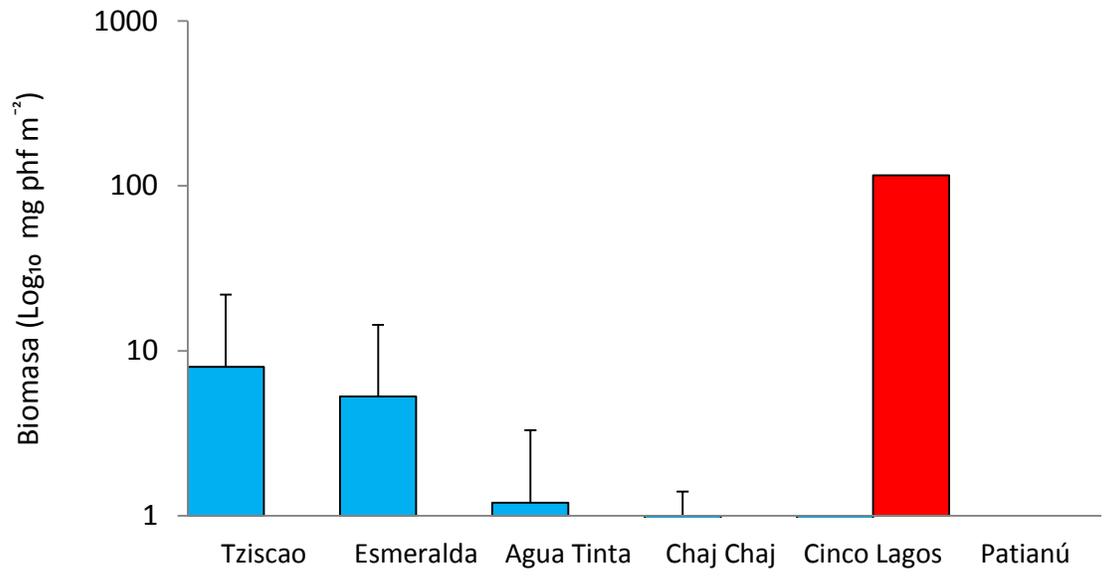


**Figura 3.** Composición porcentual de la densidad promedio de los macroinvertebrados bentónicos profundos de los lagos del PNLM, Chiapas (2013 a la izquierda y 2014 a la derecha).

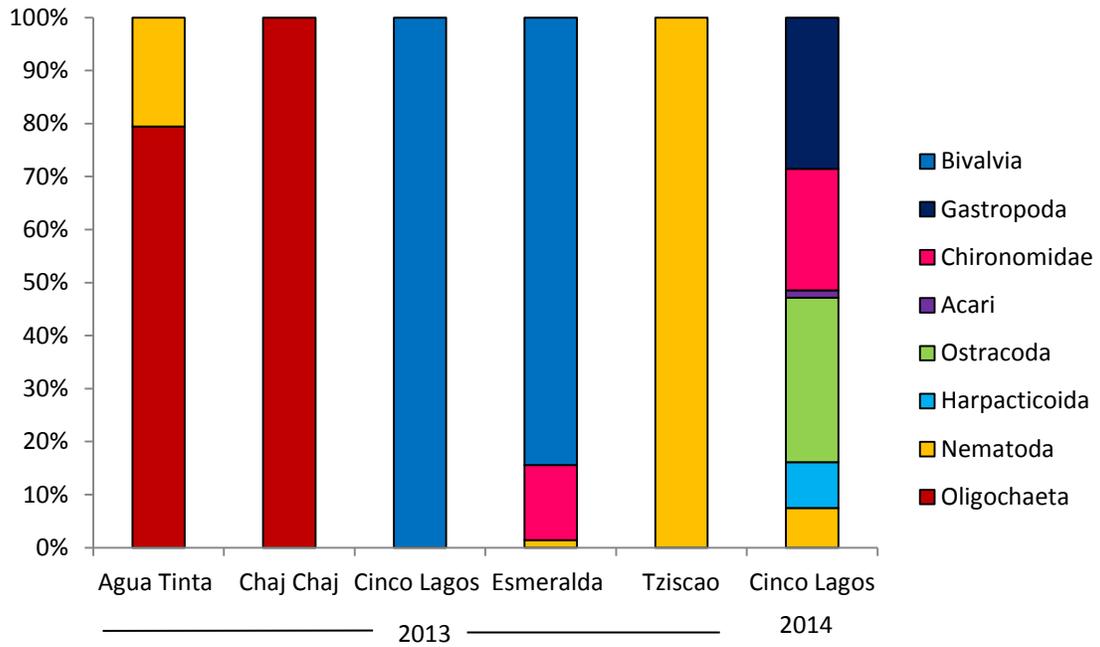
**Biomasa.** La biomasa expresada como peso húmedo fijado (phf) fue baja en general con un promedio de  $2.5 \pm 6.6$  mg phf  $m^{-2}$  en 2013 y de  $7.7 \pm 29.9$  mg phf  $m^{-2}$  en 2014. Los valores promedios variaron entre 0 y  $8.0 \pm 13.9$  mg phf  $m^{-2}$  en 2013 y de 0 a  $115.8$  mg phf  $m^{-2}$  en 2014 (Figura 4). Tziscão presentó el valor promedio mayor ( $8.0 \pm 13.9$  mg phf  $m^{-2}$ ) para el 2013 y Cinco Lagos en 2014 ( $115.8$  mg phf  $m^{-2}$ ) (Tabla 5). La mayor biomasa la aportaron Nematoda ( $24.15$  mg phf  $m^{-2}$ ) en 2013 y Ostracoda ( $35.97$  mg phf  $m^{-2}$ ) en el 2014 (Tabla 7, Figura 5).

**Tabla 8.** Biomasa de los macroinvertebrados bentónicos profundos en los lagos del PNLM, Chiapas. (- = no hubo organismos).

Taxa	Biomasa (mg phf m <sup>-2</sup> )					
	2013					2014
	Agua Tinta	Chajchaj	Cinco Lagos	Esmeralda	Tziscoa	Cinco Lagos
Oligochaeta	0.97 ± 1.68	0.52 ± 0.89	-	-	-	-
Nematoda	0.25 ± 0.43	-	-	0.07 ± 0.13	8.05 ± 13.94	8.63
Harpacticoida	-	-	-	-	-	10.02
Ostracoda	-	-	-	-	-	35.97
Acari	-	-	-	-	-	1.59
Chironomidae	-	-	-	0.74 ± 1.29	-	26.54
Gastropoda	-	-	-	-	-	33.01
Bivalvia	-	-	0.10 ± 0.18	4.43 ± 7.68	-	-



**Figura 4.** Biomasa promedio (± d.e.) de los macroinvertebrados bentónicos profundos (2013 en azul y 2014 en rojo) de los lagos del PNLM, Chiapas. (Cinco Lagos en 2014 no presenta d. e. debido a que solo se pudo coleccionar una muestra).



**Figura 5.** Composición porcentual de la biomasa de los macroinvertebrados bentónicos profundos (phf) de los lagos del PNLN, Chiapas.

## DISCUSIÓN

De acuerdo a la clasificación propuesta por Alcocer *et al.* (2016), Agua Tinta, Cinco Lagos, Tziscaco y Patianú son considerados lagos profundos, mientras que Chajchaj y Esmeralda son someros. Por otro lado, Hernández (2015) y Vargas (2016) encontraron estratificados térmicamente todos los lagos y catalogaron los lagos anteriores como ultraoligotróficos u oligotróficos salvo Chajchaj que fue eutrófico.

De acuerdo a Lewis (1996), los lagos tropicales presentan temperaturas más altas en el fondo en comparación con los lagos templados, lo cual provoca una rápida disminución del oxígeno disuelto llegando a una prolongada anoxia, produciéndose una limitante importante para el desarrollo de los organismos del bentos de la zona profunda. Lo anterior queda claramente reflejado en este estudio donde se registró una baja riqueza taxonómica (8 taxa), la cual se encuentra por debajo del límite inferior (aproximadamente de 10 taxa) de lo reportado para lagos tropicales (Tudorancea *et al.*, 1989 en Lewis, 1996), pero semejante a otros sistemas lacustres del mundo (Tabla 8).

Las taxa registradas en este trabajo coinciden con lo obtenido en otros lagos que presentan desde periodos de deficiencia de oxígeno hasta anoxia prolongada en las zonas profundas tanto en lagos templados en general (p.ej., Baikal en Rusia, Martin *et al.*, 1999; Banyoles en España, Prat *et al.*, 1992; Esrom en Dinamarca, Hamburguer *et al.*, 2000; Percile en Italia, Bazzanti *et al.*, 1998) como tropicales (p.ej., Zempoala en el Estado de México, Quiroz *et al.*, 2000; Alchichica en Puebla, Hernández *et al.*, 2014, Cote en Costa Rica, Sibaja-Cordero y Umaña-Villalobos, 2008).

Las taxa que se presentaron en la mayoría de estos cuerpos de agua con valores bajos de OD o anoxia en el fondo fueron Oligochaeta y Chironomidae (Prat *et al.*, 1992; Bazzanti *et al.*, 1998; Hamburguer *et al.*, 2000; Sibaja-Cordero y Umaña Villalobos, 2008), Ostracoda (Prat *et al.*, 1992; Martin *et al.*, 1999; Quiroz *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2014), Nematoda (Prat *et al.*, 1992; Bazzanti *et al.*, 1998), Gastropoda (Quiroz *et al.*, 2000; Sibaja-

Cordero y Umaña Villalobos, 2008), Bivalvia (Hamburguer *et al.*, 2000), Copepoda (en anexo de Prat *et al.*, 1992) y Acari (Sibaja-Cordero y Umaña Villalobos, 2008).

**Tabla 9.** Riqueza taxonómica y densidad ( $\text{ind m}^{-2}$ ) de diferentes lagos del mundo. (\*= Profundidad máxima, tomado de Alcocer y Bernal-Brooks, 2010).

24

Lago	Profundidad de colecta (m)	Riqueza Taxonómica (Taxa)	Grupos dominantes	Intervalo de Densidad promedio ( $\text{ind m}^{-2}$ )	Autor
Agua Tinta (México)	19	2	Oligochaeta Nematoda	0 a 30	Presente estudio
Chajchaj (México)	7	1	Oligochaeta	0 a 16	Presente estudio
Cinco Lagos (México)	96	6	Nematoda Harpacticoida Ostracoda Acari Chironomidae Gastropoda Bivalvia	0 a 3557	Presente estudio
Esmeralda (México)	4	3	Bivalvia Chironomidae Nematoda	0 a 15	Presente estudio
Patianú (México)	23	0	0	0	Presente estudio
Tziscoa (México)	40	1	Nematoda	0 a 15	Presente estudio

Lago Banyoles (España)	20	4	Oligochaeta Nematoda Ostracoda Chironomidae	0 a 1,303	Prat <i>et al.</i> , 1992
Lago Esrom (Dinamarca)	21	3	Oligochaeta Chironomidae Bivalvia	400 a 998	Hamburguer <i>et al.</i> , 2000
Lago Percile (Italia)	15	6	Oligochaeta Nematoda Chironomidae Chaoboridae	5 a 3616	Bazzanti <i>et al.</i> , 1998
Lago Baikal (Rusia)	>250 m	5	Oligochaeta Gammaridae Ostracoda Turbellaria	Sin dato	Martin <i>et al.</i> , 1999
Lago Alchichica (México)	≥ 50	2	Chironomidae Ostracoda (Candonidae)	274 ± 154 a 3,629 ± 3,564	Hernández <i>et al.</i> , 2014
Lago Zempoala (México)	5*	7	Cladocera Ostracoda Turbellaria Tardigrada Gastropoda Decapoda Hirudinea	95 a 1,095	Quiroz <i>et al.</i> , 2000
Lago Cote (Costa Rica)	2 a 12	15	Annelida (p. ej. Oligochaeta) Diptera (p. ej. Chironomidae) Gastropoda Coleoptera Acari	75 a 762	Sibaja-Cordero y Umaña Villalobos, 2008

Debido al reducido número de estudios, la comparación general de la composición, densidad y biomasa sobre el bentos profundo en lagos tropicales resulta limitada (Roldán-Pérez, 1992; Hernández *et al.*, 2014). La riqueza taxonómica de la zona profunda de los lagos estudiados, excepto Patianú que no presentó organismos, contrasta con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral representada por 57 taxa diferentes (Sosa, 2014).

Existen distintas causas (profundidad, estratificación, altas temperaturas, estado trófico, etc.) por las que un lago presenta condiciones de hipoxia o anoxia en el fondo (Barnes y Mann, 1980; Wetzel, 1981; Slavevska-Stamenković *et al.* 2012), sin embargo, esa característica impide el establecimiento de organismos bentónicos en la zona profunda (Slavevska-Stamenković *et al.* 2010). Situación que se observó claramente en la zona profunda del lago Patianú (ambos años) y el muestreo del 2014 donde la mayoría de los lagos estuvieron anóxicos en el fondo y no presentaron organismos. En Esmeralda (con los valores más altos de OD en ambos años) se presentó una situación diferente en el 2014, ya que a pesar de tener OD en el fondo, no se obtuvieron macroinvertebrados bentónicos. En cambio en Cinco Lagos, donde se registró anoxia, presentó la mayor riqueza taxonómica de todo el estudio (6 taxa).

Se ha descrito una mayor abundancia de organismos bentónicos en zonas del lago donde el sedimento predominante es de arenas (Barnes y Mann, 1980; Sibaja-Cordero y Umaña-Villalobos, 2008), esto debido a que el material se asocia con la zona somera o menos profunda de los lagos. Varios autores (Wetzel, 1981; Horne y Goldman, 1994; Quiroz *et al.*, 2000) han reportado que la profundidad influye en la distribución de los organismos, siendo los lagos someros y oxigenados (prístinos) los que presentan mayor riqueza taxonómica. Tal como se observa en Esmeralda (lago somero y prístino), el cual presentó los valores más altos de OD en el fondo de todo el estudio y la mayor riqueza taxonómica en 2013. Donde la presencia de organismos en 2013 comparada con la inexistencia de estos en 2014 (Tabla 5) puede estar relacionada a que en este año los porcentajes de sedimento se inclinaron más a los sedimentos finos (a y L respectivamente, Tabla 3). En el

caso de Cinco Lagos (prístino y profundo) la presencia de organismos (ambos años) puede estar relacionada al alto porcentaje de arenas (92.2% en 2013 y 88.9% en 2014), ya que los quironómidos tienden a formar galerías dentro del sustrato (Horne y Goldman, 1994).

Chajchaj en 2013 estaba oxigenado en la profundidad muestreada y presentó los taxa Oligochaeta y Harpacticoida, este evento puede relacionarse con la profundidad, ya que mientras más somero sea el lago, como es el caso, en la zona profunda hay mayor abundancia de oligoquetos y disminuye la de quironómidos (Prat *et al.*, 1992; Quiroz *et al.*, 2000), tal como sucede en el lago tropical Cote (Sibaja-Cordero y Umaña-Villalobos, 2008) debido a que estos últimos organismos tienden a desplazarse a profundidades menores para poder emerger (Jonasson, 1984). En lagos someros, eutróficos y anóxicos, es muy frecuente que se afecte negativamente el crecimiento y la producción del bentos en general (Jonasson, 1984), sin embargo, hay ciertos organismos (Oligochaeta, Nematoda, Diptera y Mollusca) que al tolerar esas condiciones de estrés aumentan su densidad en el fondo del lago (Bazzanti *et al.*, 1998; Alonso y Camargo 2005).

En algunas ocasiones existen macroinvertebrados bentónicos profundos que indican condiciones de eutrofia (p.ej. Oligochaeta, Nematoda y Choromomidae), difiriendo con otras características fisicoquímicas y biológicas que previamente lo han catalogado de manera distinta. Esto se puede atribuir a un aumento en la densidad de organismos de las zonas profundas con poco OD (p.ej. Oligochaeta, comúnmente en lagos profundos), ya que ellos sí pueden aprovechar el alimento en forma de detritus, que es más abundante en esa zona debido a la poca productividad del lago (Prat y Rieradevall, 1998). Tal es el caso de la mayoría de los lagos estudiados. Por ejemplo, en 2013, Agua Tinta (lago oligotrófico profundo) presentó Oligochaeta y Nematoda, y Tzisco Nematoda, siendo estos grupos tolerantes a condiciones de eutrofia pero también a condiciones de anoxia.

La distribución de los macroinvertebrados bentónicos profundos que presentan requerimientos ecológicos específicos son útiles para catalogar un lago (Wetzel, 1983), sin embargo la similitud de fauna bentónica entre lagos con diferentes profundidades o estados tróficos puede deberse a que los lagos se encuentran a altitudes semejantes,

tienen el mismo tipo de origen o comparten características fisicoquímicas asociadas al tipo de sustrato (Pérez *et al.* 2011; Pérez *et al.* 2012). Por tal motivo, es más recomendable asociar dichos parámetros a especies bien determinadas, por ejemplo existen algunas especies de ostrácodos que determinan aguas someras (3 m), pero también existen otras especies de ostrácodos que prefieren vivir en zonas más profundas (>40 m con valores bajos de OD, sedimentos ricos en M. O. y pobres en carbono) (Pérez *et al.*, 2010). Por lo tanto los grupos que comparten algunos lagos de este estudio pueden estar asociados a varias características fisicoquímicas o bien, a que todos los lagos comparten el mismo origen y se encuentran en altitudes semejantes.

Se ha reportado que la riqueza, abundancia y densidad de organismos bentónicos va decreciendo de la zona litoral hasta la zona profunda del lago (Wetzel, 1983; Bazzanti *et al.*, 1998; Martin *et al.*, 1999; Quiroz *et al.*, 2000; Nagorskaya y Keyser, 2005), ya que las condiciones homogéneas de temperatura y, en la mayoría de los casos, de deficiencia de OD (Lewis, 1996; Slavevska-Syamenković *et al.* 2012), además de un predominio de sedimentos finos y compactos, impiden la colonización de diferentes grupos taxonómicos (Sibaja-Cordero y Umaña-Villalobos, 2008). Sólo aquellos grupos que toleran esas condiciones son los que generalmente se encuentran en mayor densidad en la zona profunda de los lagos (Alonso y Camargo, 2005) y, dependiendo del estado trófico, puede que ciertos taxa estén presentes y otros no (p. ej., Ostracoda en lagos oligotróficos y algunas especies de Chironomidae en lagos eutróficos) (CHE, 2005). En el presente estudio los grupos más abundantes fueron Oligochaeta en el 2013 con 66.7% y en 2014 fue Chironomidae con 37.5 % del total de los organismos colectados.

Estos organismos presentan características morfológicas, metabólicas y de comportamiento que les generan una ventaja adaptativa para colonizar la zona del bentos profundo (Wetzel, 1981; Margalef, 1983; Roldán-Pérez, 1992). Una de ellas las menciona Weber (1980), quién observó que algunos géneros de la familia Chironomidae, poseen la capacidad de sintetizar hemoglobina en respuesta a la escasez de OD en el ambiente. De manera similar, en el caso de los anélidos (algunos oligoquetos, presentes en Agua Tinta

con  $2.2 \text{ mg L}^{-1}$  y Chajchaj con  $3.3 \text{ mg L}^{-1}$ ) poseen eritrocruorina, pigmento respiratorio que les permite tolerar bajas concentraciones de OD.

La densidad de Oligochaeta es distinta en los lagos templados. Por ejemplo, Martin *et al.* (1999) mencionan una disminución exponencial (a partir de los 20 m) conforme aumenta la profundidad del lago (hasta la profundidad máxima). Situación similar reportada en el lago eutrófico Percile (Bazzanti *et al.*, 1998). En Banyoles, un lago oligotrófico, a la misma profundidad (20m) pero en cuencas distintas existen diferencias de 0 a  $1,303 \text{ ind m}^{-2}$  (Prat *et al.*, 1992). Cabe resaltar que, todos los lagos antes referidos presentan periodos de deficiencia de oxígeno hasta anoxia (p. ej. de 3 a  $0 \text{ mg L}^{-1}$ , Bazzanti 1998). También se han descrito cambios temporales y espaciales (Bazzanti *et al.*, 1998) en la densidad y biomasa de Chironomidae (p. ej. a 20 m pero en cuencas distintas va de 0 a  $438 \text{ ind m}^{-2}$ , Prat *et al.*, 1992), como la disminución de la riqueza taxonómica mientras aumenta la profundidad (Hernández *et al.*, 2014).

Lo anterior puede indicar que no existe un patrón estricto en cuanto a la distribución de estos taxa. Tal como se refleja en los resultados de este estudio, ya que se encontraron tanto en un lago profundo y oligotrófico y también en un lago somero y eutrófico. Sin embargo, varios autores han reportado cambios temporales y espaciales drásticos de la distribución de estos grupos en la zona profunda de los lagos, de tal manera que la baja densidad reportada en este estudio puede estar relacionada con el aumento de profundidad, la proporción de sedimentos finos y gruesos y el estado trófico del sistema, tal como lo han mencionado algunos autores en otros sistemas acuáticos (p.ej., Martin *et al.*, 1999; Prat *et al.*, 1992; Hamburguer *et al.*, 2000; Bazzanti *et al.*, 1998).

## CONCLUSIÓN

La comunidad de macroinvertebrados profundos de los seis lagos del PNLM, Chiapas, está integrada por 8 taxa en general, que son Oligochaeta, Nematoda, Copepoda Harpacticoida, Ostracoda, Acari, Chironomidae, Gastropoda, Bivalvia.

30

La riqueza taxonómica de los macroinvertebrados profundos de los lagos es reducida, con tan sólo 8 taxa, aún comparada con lo reportado para otros lagos tropicales que alcanzan en promedio 32 taxa (Tudorancea *et al.*, 1989 en Lewis, 1996).

Los lagos más profundos (Agua Tinta, Cinco Lagos y Tzisco) presentaron una mayor riqueza taxonómica (ocho taxa) respecto a los lagos someros (Chajchaj y Esmeralda con cuatro taxa). Los taxa abundantes fueron Oligochaeta en 2013 y Chironomidae en 2014.

La composición de la comunidad de macroinvertebrados profundos de los seis lagos del PNLM, Chiapas, es similar a la registrada en otros lagos tropicales y templados con presencia de periodos prolongados de hipoxia/anoxia.

Patianú fue el único lago en el que se registró anoxia en los dos muestreos; este lago también fue el único que no presentó organismos. Por otro lado, Esmeralda fue el único lago que presentó oxígeno disuelto en los dos muestreos; sin embargo, este lago no presentó organismos en el segundo muestreo a pesar de permanecer oxigenado. Lo anterior sugiere fuertemente que el oxígeno disuelto juega un papel importante en la colonización y permanencia del bentos profundo, pero que no es el único factor que afecta a esta comunidad.

El presente estudio apoya la hipótesis de Lewis (1996) la que indica que las condiciones adversas de las zonas profundas de los lagos tropicales (anoxia pronta y prolongada) conlleva a que la fauna bentónica profunda esté depauperada.

## Literatura citada

- Alcocer J. y F. W. Bernal-Brooks. 2010. Limnology in Mexico. *Hydrobiologia* 644: 15-68.
- Alcocer J., L. A. Oseguera, G. Sánchez, C. G. Gonzáles y J. R. Martínez. 2016. Bathymetric and morphometric surveys of the Montebello Lakes, Chiapas. *Journal of Limnology* 75(1): 56-65.
- Almeida B. T. 2014. Heterogeneidad espacial en el sistema lacustre de Montebello: estructura funcional y taxonómica del fitoplancton. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México: Facultad de Estudios Superiores Iztacala. México. 66p.
- Alonso A. y J. A. Camargo. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas* 3: 1-12.
- APHA, AWWA y WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Nueva York. 1193p.
- Barnes R. S. K. y K. H. 1980. *Fundamentals of Aquatic Ecology*. Blackwell Scientific Publications. 265p.
- Bazzanti M., M. Seminara, y S. Baldon. 1998. Assessing hypolimnetic stress in a monomictic, eutrophic lake using profundal sediment and macrobenthic characteristics. *Journal of Freshwater Ecology* 13: 405-412.
- Comisión Federal de Electricidad y Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil y Ciencias de la Tierra (CFE-GEIC). 2012a. Estudio para conocer la calidad del agua de las Lagunas de Montebello, Chiapas. Tomo I Hidrometeorología. Comisión Federal de Electricidad. México. 264p.
- Comisión Federal de Electricidad y Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil y Ciencias de la Tierra (CFE-GEIC). 2012b. Estudio para conocer la calidad del agua de las Lagunas de Montebello, Chiapas. Tomo II Geohidrología. Comisión Federal de Electricidad. México. 196p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2013. La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Gobierno del Estado de Chiapas. México. 435p.

Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). 2009. Plan de Gestión de la Cuenca del Río Grande-Lagunas de Montebello. Chiapas, México. 168p.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2009. Programa de monitoreo: Estudio para el monitoreo de la calidad de agua de las lagunas en el Parque Nacional Lagunas de Montebello. México. 59p.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2011. "Programa de Monitoreo de Calidad del Agua". Estudio para monitorear los parámetros de calidad de agua de las Lagunas comunicadas con el Sistema lagunar Tepancoapan. Comitán de Domínguez, Chiapas. Parque Nacional Lagunas de Montebello. 77p.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Lagunas de Montebello. México, D. F. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas protegidas. 194p.

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). 2005. Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos. Ministerio de Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Ebro. Comisaría de Aguas. Zaragoza. 56p.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2009. Programa de Manejo del Parque Nacional Lagunas de Montebello, ubicado en los municipios de La Trinitaria e Independencia, en el Estado de Chiapas. Diario Oficial de la Federación. 18 diciembre de 2009, México.

Durán Calderón I., F. O. Escolero, S. E. Muñoz, R. M. Castillo y R. G. Silva. 2014. Cartografía geomorfológica a escala 1: 50,000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México). Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 66: 263-277.

Durán Calderón, J. I. 2013. Análisis geomorfológico del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México: Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería de Ciencias de la Tierra. 88p.

Ecología del bentos de seis lagos del Parque Nacional "Lagunas de Montebello", Chiapas, México

Edmondson W. T. 1959. Freshwater biology. John Wiley and Sons. United States of America: Nueva York. John Wiley and Sons. 1248p.

Folk R. L. 1974. Petrology of sedimentary rocks. The Walter Geology Library – The University of Texas at Austin: Austin, TX. 182p.

García E, 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM: 217 pp.

Gray J. S. 1981. The ecology of marine sediments. Cambridge Studies in Modern Biology 2. Cambridge University Press. Cambridge. 185p.

Hamburguer K., P.C. Dall, C. Lindergaard y I. B. Nilson. 2000. Survival and energy metabolism in an oxygen deficient environment. Field and laboratory studies on the bottom fauna from the profundal zone of Lake Esrom, Denmark. *Hydrobiologia* 432: 173-188.

Hernández M. C., J. Alcocer, L. A. Oseguera y E. Escobar. 2014. Profundal benthic invertebrates in oligotrophic tropical lake: different strategies for coping with anoxia. *Journal of Limnology* 73(2): 387-399.

Hernández V. P. P. 2015. Concentración y distribución vertical de la clorofila *a* fitoplanctónica de los lagos de Montebello, Chiapas, México. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 49p.

Horne A. y R. Goldman. 1994. Limnology. Nueva York. McGraw-Hill. 576p.

Hurlbert S. H. y A. Villalobos-Figueroa. 1982. Aquatic biota of México, Central America, and the West Indies. San Diego State University. California. 529p.

Jackson J. B. C., M. X. Kirby, W. H. Berger, K. A. Bjorndal, L. W. Botsford, B. J. Bourque, R. H. Bradbury, R. Cooke, J. G. Erlandson, J. A. Estes, T. P. Hughes, S. Kidwell, C. B. Lange, H. S. Lenihan, J. M. Pandolfi, C. H. Peterson, R. S. Steneck, M. J. Tegner y R. R. Warner. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293(5530): 629-638.

Johnson K. A. y K. C. Nelson. 2004. Common Property and Conservation: The Potential for Effective Communal Forest Management within a National Park in Mexico. *Human Ecology* 32(6): 703-733.

Jonasson P. M. 1984. Oxygen demand and long-term changes of profundal zoobenthos. *Hydrobiologia* 115: 121-126.

Lewis, W. M. 1996. Tropical lakes: how latitude makes a difference. In Schiemer F. y K. Boland (eds). *Perspectives in Tropical Limnology*. Academic Publishing. 43-64p.

Margalef R. 1983. *Limnología*. Barcelona. Ediciones Omega. 1010p.

Martin J. W. y G. E. Davis. 2001. An updated classification of the recent crustacea. *Natural History Museum of Los Angeles County*. E.U.A. 124p.

Martin P., K. Martens y B. Goddeeris. 1999. Oligochaeta from the abyssal zone of Lake Baikal (Siberia, Russia). *Hydrobiologia* 406: 165-174.

Martínez C. L. R. 1998. *Ecología de los sistemas acuícolas. Bases ecológicas para el desarrollo de la acuicultura*. México. AGT editor, S.A. 227p.

Nagorskaya L. y D. Keyser. 2005. Habitat diversity and ostracod distribution patterns in Belarus. *Hydrobiologia* 538: 167-178.

Oscóz J., F. Campos, y M. C. Escala. 2006. Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnetica* 25(3): 683-692.

Orozco Martínez C. L. 2016. Efecto de las variables fisicoquímicas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los lagos de Montebello. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias Biológicas. 80p.

Pennak R.W. 1978. *Fresh-water invertebrates of the United States*. Wiley, New York. 803p.

Prat N., M. Real y M. Rieradevall. 1992. Benthos of Spanish lakes and reservoirs. *Limnetica* 8: 221-230.

- Prat, N. y M. Rieradevall. 1998. Criterios de evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses basados en los macroinvertebrados bentónicos. *Actualidades Biológicas* 20(69): 137-147.
- Pérez, L., J. Lorenschat, R. Bugja, M. Brenner, B. Scharf y A. Schwalb. 2010. Distribution, diversity and ecology of modern freshwater ostracodes (Crustacea), and hydrochemical characteristics of Lago Petén Itzá, Guatemala. *Journal of Limnology* 69(1): 146-159.
- Pérez, L., R. Bugja, J. Lorenschat, M. Brenner, J. Curtis, P. Hoelzmann, G. Islebe, B. Scharf y A. Schwalb. 2011. Aquatic ecosystems of the Yucatán Peninsula (Mexico), Belize, and Guatemala. *Hydrobiologia* 661(1), 407-433.
- Pérez, L., J. Lorenschat, M. Brenner, B. Scharf, y A. Schwalb. 2012. Non-marine ostracodes (Crustacea) of Guatemala. En Cano E. y J. Shuster (eds), *Biodiversidad de Guatemala II*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala. 121-131 p.
- Quiroz C. H., V. M. Díaz, A. R. Trejo y A. E. E. Elizalde. 2000. Aspectos sobre la abundancia y distribución de los principales grupos de la fauna bentónica en el lago "Zempoala", Morelos, México. *Ciencia y Mar* 4(10): 39-50.
- Roldán-Pérez, G. 1992. *Fundamentos de limnología neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 421p.
- Sibaja-Cordero J. A. y G. Umaña-Villalobos. 2008. Invertebrados bentónicos del Lago Cote, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 56: 205-213.
- Slavevska-Stamenković, V., M. Paunović, S. Smiljkov, T. Stafilov, D. Prelić, M. Ristovska, Z. Gačić y A. Atanacković. 2012. Factors affecting distribution pattern of dominant macroinvertebrates in Mantovo Reservoir (Republic of Macedonia). *Biologia* 67(6):1129-1142.
- Slavevska-Stamenković V., S. Smiljkov, D. Prelić, M. Paunović, A. Atanacković y B. Rimchevska. 2010. Structural characteristic of benthic macroinvertebrate in the Mantovo Reservoir (south-east part of the Republic of Macedonia). *BALWOIS*, Ohrid, Republic of Macedonia. 8p.

Sosa Aranda N. 2014. Comparación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del Parque Nacional Lagunas de Montebello. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 61p.

Tudorancea, C., R. M. Baxter, and C. H. Fernando. 1989. A comparative limnological study of zoobenthic associations in lakes of the Ethiopian Rift Valley. *Archiv für Hydrobiologie. Suppl.* 83:121-174. En Lewis, W. M. 1996. Tropical lakes: how latitude makes a difference. En Schiemer F. y K. Boland (eds). *Perspectives in Tropical Limnology*. Academic Publishing. 43-64p.

Vander M. y Y. Vadeboncoeur. 2002. Fishes as integrators of benthic and pelagic food webs in lakes. *Ecology* 83(8): 2152-2161.

Vargas S. M. 2016. Caracterización del seston en lagos del Parque Nacional "Lagunas de Montebello", Chiapas, México. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 66p.

Weber R. E. 1980. Function of invertebrate hemoglobins with special reference to adaptations to environmental hypoxia. *American Zoologist*. 20: 79–101.

Wentworth C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology* 30(5): 377-392.

Wetzel R. G. 1981 *Limnología*. Barcelona: Omega. 680p.

Wetzel R. G. 1983. *Limnology*. Filadelfia: Saunders. 860p.