



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESTUDIO PALEOLIMNOLÓGICO CON  
DIATOMEAS, AMEBAS TESTADAS Y OSTRÁCODOS  
EN EL LAGO SAN LORENZO, CHIAPAS, 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:**

**WENDOLYN SÁNCHEZ GUERRERO**



**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. MARGARITA ERNA CABALLERO  
MIRANDA  
CIUDAD DE MÉXICO, 2021**



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.

## **Datos del jurado y sustentante**

Tutor (Secretario)

Dra. Margarita Erna Caballero Miranda

Instituto de Geofísica, UNAM

Sinodal 1 (Presidente)

Dra. María del Socorro Lozano García

Instituto de Geología, UNAM

Sinodal 2 (Vocal)

Dr. Eberto Novelo Maldonado

Facultad de Ciencias, UNAM

Sinodal 3 (Suplente 1)

Dra. Lucy Natividad Mora Palomino

Instituto de Geología, UNAM

Sinodal 4 (Suplente 2)

Dra. Itzel Sigala Regalado

Facultad de Ciencias, UNAM

## **Datos del trabajo escrito**

Sánchez Guerrero W. (2021). *Estudio paleolimnológico con diatomeas, amebas testadas y ostrácodos en el lago San Lorenzo, Chiapas, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 66p.

## **AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de crecer y desarrollarme académicamente en la máxima casa de estudios de México. Al Instituto de Geología y principalmente al Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindar las instalaciones para desarrollar este trabajo de tesis.

Agradezco profundamente a la Dra. Margarita E. Caballero Miranda, mi asesora de tesis, por todo su apoyo que me brindó para elaborar este escrito y por toda su paciencia y solidaridad conmigo, a animarme a no darme por vencida para concluir con esta etapa de mi vida. Le estoy muy agradecida por todas sus enseñanzas, retroalimentación porque siempre fue muy atenta y amable ante cualquier duda que tuviesen sus tesis y también para que tuviéramos todo el material posible para nuestros proyectos, por guiarme y por todo su apoyo en este proceso de formación, ¡gracias!

A la Dra. Itzel Sigala Regalado por transmitirme el gusto por el mundo de los Protistas, particularmente por las amebas testadas, por su apoyo académico, por el apoyo en la identificación taxonómica de amebas testadas y sus valiosos comentarios durante la realización de este trabajo y por su valiosa amistad.

A mi jurado Dra. María del Socorro Lozano García, Dr. Eberto Novelo Maldonado, Dra. Lucy Natividad Mora Palomino Suplente y Dra. Itzel Sigala Regalado por su tiempo, comentarios, opiniones y sugerencias para la mejora del presente escrito.

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 M. en C. Diana Angélica Avendaño Villeda por la ayuda en la identificación taxonómica de diatomeas.

A la M. en C. Fernanda Charqueño Celis por el apoyo en la identificación taxonómica de cladóceros y ostrácodos también por sus comentarios y sugerencias para la mejora del presente escrito.

A la Biól. Margarita de Montserrat Amezcua Vargas por su ayuda en la identificación taxonómica de ostrácodos.

Al Proyecto PAPIIT IV200319 Área Experimental de Lagos Tropicales, Responsable Dr. Javier Alcocer.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mis padres Alma y Sergio por su total e incondicional apoyo, cuidados, confianza, por sus ejemplos, por motivarme a no darme por vencida a pesar de las adversidades, por todas sus enseñanzas que hacen de mí una mejor persona. Les agradezco por creer en mí y en lo que puedo llegar a lograr. Por toda su comprensión a lo largo de la carrera. Los amo con toda mi vida.

A mi hermana Delia, por siempre apoyarme incondicionalmente, por comprenderme, por apoyarme en mis bajos momentos, por jamás soltar mi mano y siempre animarme y confiar en mí. Te amo mucho y siempre estaré para ti.

A mi familia que jamás ha dejado de apoyarme, siempre han estado para mí ante cualquier situación, gracias por alentarme, darme ánimos a seguir y concluir esta etapa, los amo.

A Itzel, persona con la que he contado desde inicios de la licenciatura, por enseñarme tanto, por creer en mí, por haberme dado la oportunidad de obtener una mejor opción. Gracias por tu apoyo, amistad y buenos momentos en aquellos días, tardes y noches en el laboratorio y por los “descansitos” no permitidos.

A mis amigos de Amebas Testadas, Manu, Alex, Ed, Pam, Jasso, Antonio y Machis, por todas aquellas buenas pláticas dentro y fuera del laboratorio, siempre estarán en un lugarcito muy especial de mis memorias. A Erandi con quien compartí el laboratorio múltiples veces y gracias a ello poco a poco surgió una gran amistad, te agradezco mucho tu ayuda, apoyo que me has dado y por esas buenas charlas de break.

A mis compañeros y amigos de laboratorio Dianita, Fer, Lore, Lupita, Marcos, Mercedes, Mon, Mire, gracias por hacer mis días mejores y por consolarme y apoyarme en algunos momentos de debilidad, especialmente a Dianita y a mi Fer, gracias por estar ahí apoyándome y brindándome de consejos y palabras de aliento.

A mi mejor amigo Oscar con quien he formado una amistad de hace años y siempre hemos estado apoyándonos y más en este proceso de nuestras vidas. Gracias por permitirme seguir formando parte de tu mundo, Te amo.

A mis amigos de la Fac Anahid Morales, Edna Rodríguez, Paulina Ovalle, Samantha Valadés, Verónica Díaz, Paola Ramírez, Oscar Mondragón, Fernanda Moreno, Diana Cárdenas, Hokabek Ruíz, Miguel Angel González y Miguel Salazar, gracias por siempre estar en las malas y en las buenas, por su cariño, por su apoyo, por todas las risas y muy buenos momentos, por sus consejos, por su amistad, por formar parte de mi vida, de mi mundo, los quiero mucho.

A mi personita especial que desde que la conocí jamás ha dejado de apoyarme, de estar en mis peores y en mis mejores momentos, quien me motivó y me sigue motivando a ser mejor persona, a mejorar en mi vida. Quien me ha inspirado a seguir adelante y no darme por vencida, siempre apoyándome en cada decisión que tome y dándome su mejor consejo o sus mejores palabras de aliento. Siempre estaré para ti, gracias por todo tu apoyo. Te amo, K.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
MARCO TEÓRICO .....	3
Diatomeas .....	3
Amebas testadas .....	5
Ostrácodos .....	5
Quironómidos .....	7
Cladóceros .....	7
JUSTIFICACIÓN .....	8
OBJETIVOS .....	9
Objetivo general .....	9
Objetivos particulares .....	9
ÁREA DE ESTUDIO .....	10
Geología .....	10
Clima .....	11
Vegetación .....	11
Los lagos en PNLM .....	12
Lago San Lorenzo .....	13
ANTECEDENTES .....	14

MÉTODO .....	15
Trabajo de campo .....	15
Trabajo de laboratorio y gabinete .....	15
RESULTADOS .....	19
Secuencia Sedimentaria y modelo de edad .....	19
Diatomeas .....	21
Amebas testadas .....	30
Ostrácodos .....	38
Cladóceros .....	42
Quironómidos .....	45
DISCUSIÓN .....	48
CONCLUSIONES .....	51
LITERATURA CONSULTADA .....	53

## RESUMEN

El presente trabajo documenta los cambios en las condiciones limnológicas del lago San Lorenzo y la riqueza de distintos bioindicadores del cuerpo de agua. El estudio se enfocó en la identificación de las diatomeas, amebas testadas, ostrácodos, cladóceros y quironómidos preservados en la secuencia sedimentaria Liq-13-G-II, que de acuerdo a las estimaciones del modelo de edad abarca los últimos 50 años. Los resultados obtenidos indican que los conteos de todos los grupos, a excepción de las diatomeas, no permiten realizar un análisis ecológico adecuado; por lo que únicamente, se usaron los valores de Ti y los porcentajes de diatomeas en la reconstrucción de las condiciones del cuerpo de agua. Entre las especies de diatomeas destaca la presencia de *Aulacoseira granulata*, *Discostella pseudostelligera* y *Cyclotella meneghiniana*, las cuales se han asociado con la entrada de sedimentos y condiciones eutróficas en el lago y *Stephanodiscus hantzschii* fo. *tenuis*, lo cual muestra un elevado nivel de nutrientes en el lago. Se distinguieron tres periodos: 1) 1957-1964 (40-35 cm), 2) 1978-1986 (25-20 cm) y 3) los inicios del 2000 (10-5 cm). El primer periodo se relacionó con cambios en el uso de la tierra derivados de la Reforma Agraria. Mientras que durante el segundo y tercer periodo, se reconstruye una intensa entrada de sedimentos asociadas posiblemente con los cambios en uso de suelo (agricultura, uso de plaguicidas, inducción de pastizales) y los incendios forestales. El tercer periodo, además, se caracteriza por un incremento en las abundancias de diatomeas, lo cual se asoció con el acelerado crecimiento demográfico de las poblaciones humanas en la parte noroeste del Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM). Con base a estos periodos y al registro bibliográfico sobre los impactos ambientales negativos y cambios sociales en el PNLM, se propone que el lago San Lorenzo ha presentado un estado constante de eutrofización a causa de perturbaciones de origen antropogénico. Por otra parte, si bien, los conteos de la mayoría de los bioindicadores no alcanzaron números que permitirán su análisis ecológico, la presente investigación es relevante, ya que proporciona nuevos reportes de especies de bioindicadores, que ayudarán a los futuros proyectos paleolimnológicos de la zona.

## INTRODUCCIÓN

Los lagos son ecosistemas pequeños en comparación con mares u océanos, sin embargo, son importantes por ser reservas de agua dulce y porque se encuentran entre los ecosistemas más sensibles a los cambios ambientales (Caballero *et al.* 2013; CONAGUA 2009). Los lagos están en una constante interacción con su entorno y pueden presentar cambios físicos, químicos y biológicos que se ven reflejados sobre la condición y funcionamiento de las comunidades biológicas (Gibson *et al.* 1996). Estos cambios pueden afectar la estructura de las comunidades biológicas, ciclos de vida, reproducción y crecimiento (Bartram y Ballace 1996), e incluso la abundancia y diversidad de especies que también dependen de las condiciones ambientales. El éxito de las especies en términos reproductivos estará en relación con los valores óptimos de un conjunto de variables ambientales para esa especie y su rango de tolerancia (Montoya-Moreno y Aguirre-Ramírez 2013).

En todos los lagos se presenta una constante acumulación de sedimentos que incluyen minerales, fragmentos de roca, microorganismos y materia orgánica. Las proporciones de los diferentes elementos variarán dependiendo de las características ambientales del lago y su entorno. Los sedimentos se acumulan a lo largo del tiempo, y por lo tanto representan un valioso registro de condiciones climáticas y ambientales del pasado (Brenner *et al.* 2000; Escobar *et al.* 2005; Fritz *et al.* 1991), de manera que también son un valioso registro para evaluar el impacto ambiental de actividades antrópicas (Smeltzer y Swain 1985).

La Paleolimnología es la ciencia que emplea la información preservada en los sedimentos lacustres para estudiar las condiciones ambientales pasadas de un cuerpo de agua (Frey 1988). Permite reconstruir la evolución de un lago (Caballero *et al.* 2013) mediante el análisis de bioindicadores o indicadores biológicos preservados en los sedimentos. Los bioindicadores de mayor utilidad en estudios paleolimnológicos, son organismos que se caracterizan por tener una gran sensibilidad y rápida respuesta a cambios en las condiciones físicas, químicas y ecológicas. Los bioindicadores paleolimnológicos deben tener también un alto potencial de preservación en los sedimentos (Holt y Miller 2010), entre ellos destacan las diatomeas, las amebas testadas y los ostrácodos.

En este trabajo se utilizaron métodos paleolimnológicos para el estudio del lago San Lorenzo (Chiapas, México), el cual forma parte del Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM). El PNLM representa uno de los escenarios naturales más bellos a nivel nacional y se localiza en una

región hidrológica prioritaria por alta riqueza biológica. Recientemente (~ 2003) se reportaron cambios en la coloración de algunos de los lagos del PNLM (CFE 2012) por lo cual instituciones y organizaciones, entre las que se encuentra la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), han comenzado estudios con la finalidad de comprender la raíz del problema del cambio en la coloración de las aguas en el parque y proponer medidas paliativas (Durán-Calderón *et al.* 2014). Dentro de este contexto, se plantea el presente estudio con el objetivo de documentar la historia reciente de uno de estos lagos, mediante el estudio de bioindicadores (diatomeas, amebas testadas, ostrácodos, cladóceros y quironómidos) preservados en una secuencia sedimentaria de 41 cm del lago San Lorenzo, que abarca los últimos ~50 años.

## **MARCO TEÓRICO**

Como ya se mencionó, la Paleolimnología se basa en el estudio de los sedimentos lacustres para inferir las condiciones ambientales pasadas de un cuerpo de agua, incluyendo los cambios climáticos e impacto humano (Brenner *et al.* 2002; Frey 1988). Uno de los métodos más usados en Paleolimnología es el análisis de bioindicadores preservados en los sedimentos cuyos cambios en abundancia y diversidad a lo largo de una secuencia estratigráfica, permiten inferir cambios en las condiciones ambientales (Cohen, 2003). Entre los bioindicadores más utilizados en estudios paleolimnológicos se encuentran las diatomeas, amebas testadas y ostrácodos.

### **Diatomeas**

Las diatomeas son organismos eucariontes unicelulares que pertenecen a la división Bacillariophyta y son importantes productores primarios, que pueden ser tanto bentónicas (adheridas a un sustrato), como planctónicas (flotando libres en la columna de agua) (Caballero y Maidana 2017; Round *et al.* 1990). Las diatomeas se caracterizan por presentar una pared celular impregnada de dióxido de sílice a la que se denomina frústulo. El frústulo está formado por dos unidades principales o valvas, las cuales pueden presentar diversos tipos de perforaciones u ornamentaciones, cuyos patrones son la base de la taxonomía del grupo (Figura 1).

Se estima que existen entre 30,000 y 100,000 especies distribuidas en tres clases: Coscinodiscophyceae, Mediophyceae y Bacillariophyceae (Medlin & Kaczmariska 2004). Las

Coscinodiscophyceae y Mediophyceae se caracterizan por presentar una simetría radial en su ornamentación mientras que las Bacillariophyceae tienen simetría bilateral. Éstas últimas se dividen en cuatro subclases (Fragilariophycidae, Urneidophycidae, Eunotiophycidae y Bacillariophycidae), dos de ellas (Eunotiophycidae y Bacillariophycidae) se distinguen además por presentar dos ranuras longitudinales denominadas rafe.

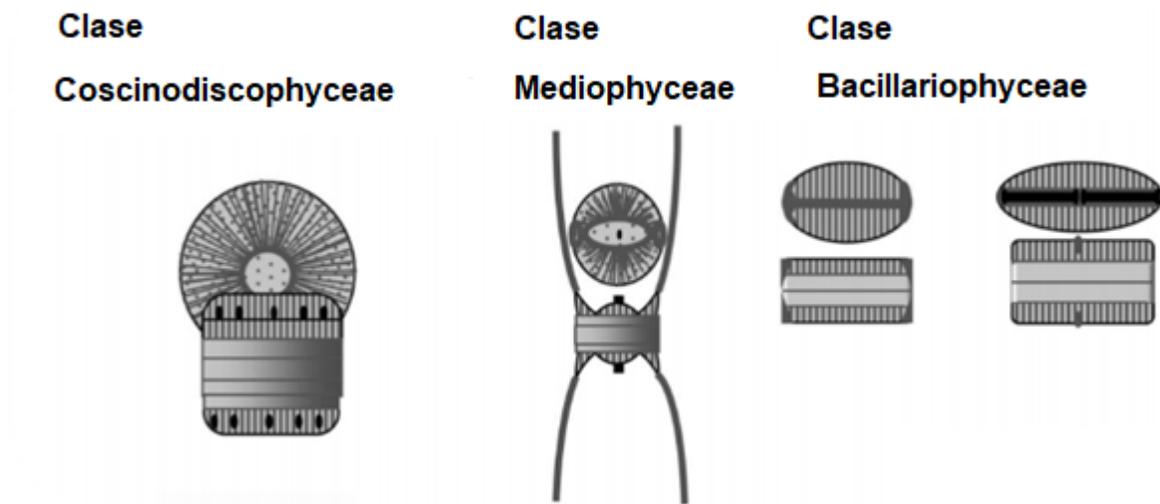


Figura 1. Esquema de las tres clases de diatomeas (modificado de Medlin, 2016).

Los frústulos silíceos son resistentes a la degradación y se preservan en los sedimentos que se acumulan tanto en mares como en lagos o ríos, permitiendo su utilidad como indicadores de cambios ambientales pasados (Mora *et al.* 2016; Pérez *et al.* 2015b). La presencia de ciertas especies de diatomeas puede ser indicativa de las condiciones de calidad del agua como salinidad o pH. Las especies de diatomeas responden rápidamente a los cambios en el ambiente por lo que se consideran excelentes bioindicadores (Caballero y Maidana 2017; Pérez *et al.* 2015b; Smeltzer y Swain 1985).

## Amebas testadas

Las amebas testadas son organismos eucariontes unicelulares que se caracterizan por poseer una testa, cuyo tamaño oscila entre 5 - 300  $\mu\text{m}$  (Smith *et al.* 2008). Se tienen dos tipos de testa (Figura 2): *autogénica*, cuando las amebas secretan su propia testa que puede ser proteica, silíceo o calcárea; el segundo tipo de testa es *xenogénica*, formada por la aglutinación de partículas orgánicas o minerales capturadas del ambiente circundante (Meisterfeld 2002; Ogden y Hedley 1980). La testa es altamente resistente a la descomposición y se preserva bien en los sedimentos. Una característica que hace que sean particularmente valiosos como bioindicadores es que la forma y naturaleza de la testa es de carácter taxonómico (Medioli y Scott 1983). Son frecuentes en ambientes de agua dulce y salobre, incluidos los lagos y hábitats terrestres húmedos como turberas, suelos, cortezas de árbol, aguas estancadas y marismas (Medioli y Scott 1983). Este grupo es particularmente útil para el monitoreo de lagos y es asociado a cambios de pH y a contaminantes derivados de la minería (Patterson *et al.* 2013) y también son utilizados en estudios de paleoecología (Payne *et al.* 2016).

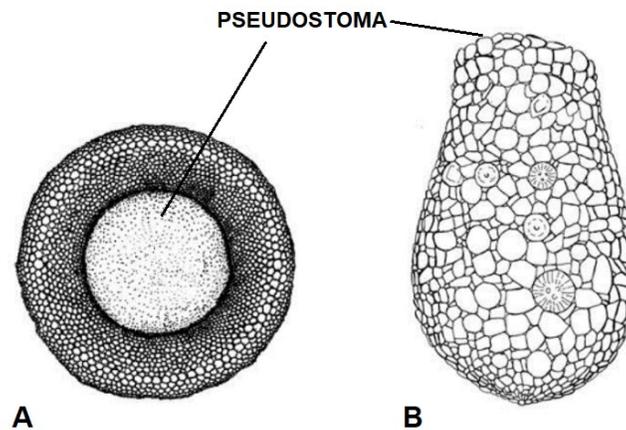


Figura 2. Tipos de testa A) testa *autogénica*, B) testa *xenogénica* (modificado de Sigala 2017).

## Ostrácodos

Los ostrácodos son animales que pertenecen a la clase Ostracoda dentro del subphylum Crustacea (Martens & Sukonthip 2011). Se tiene registro de 65,000 taxones, tanto fósiles como vivos. Los ostrácodos se caracterizan por tener un cuerpo protegido por un caparazón bivalvo formado de carbonato de calcio y cuya morfología es de importancia taxonómica. Las valvas de carbonato de

calcio son resistentes a la degradación por lo que se preservan en los sedimentos lacustres (Figura 3) (Dole-Oliver *et al.* 2000). Los grupos de ostrácodos vivos están clasificados en dos subclases: Myodocopa y Podocopa, es una clasificación morfológica que se basa tanto en las partes blandas como en las partes duras. Solo las especies dentro de la subclase Podocopa tienen representación en los ambientes epicontinentales no marinos (Pérez *et al.* 2015a).

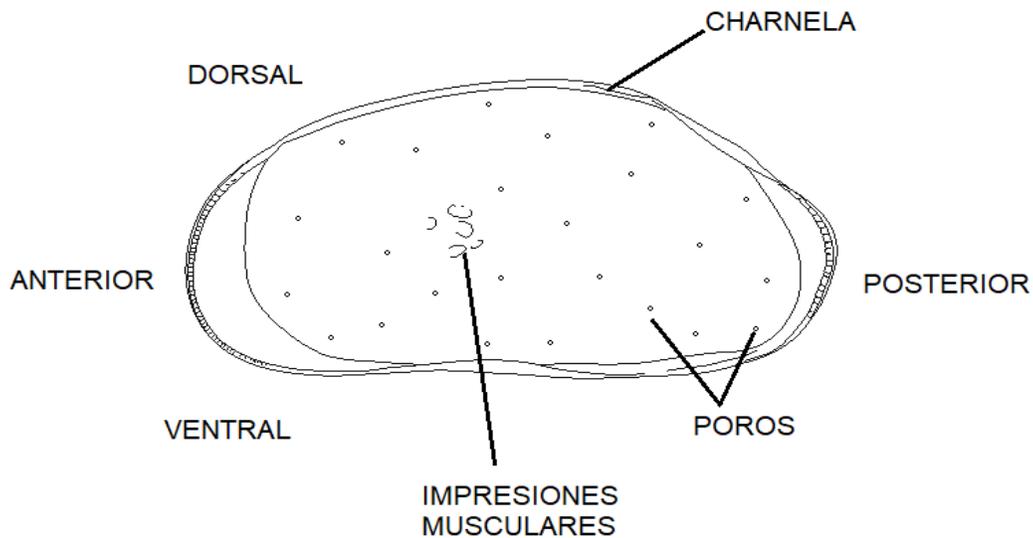


Figura 3. Esquema de valva de ostrácodo (modificado de Smith y Kamiya, 2007).

Los ostrácodos viven en la mayoría de los sistemas acuáticos, así como también en suelos con hojarasca y ambientes hipogeos. Los cuerpos de agua en los que viven en general tienen dominancia de calcio como carbonatos. Su distribución está determinada por: características físicas del hábitat, características fisicoquímicas del agua, tipo de sustrato, presencia y naturaleza de la vegetación acuática, disponibilidad de alimento, entre otros (Pérez *et al.* 2015a; Smol *et al.* 2001). Debido a que son organismos sensibles a variaciones ambientales o químicas y a que su caparazón de carbonato de calcio tiene un alto potencial de fosilización y una buena conservación en los sedimentos lacustres, son un grupo de microfósiles importantes como indicadores acuáticos en estudios paleoambientales.

## **Cladóceros**

Los cladóceros son animales de la clase Branchiopoda dentro del subphylum Crustacea, su tamaño oscila entre 0.5 hasta 2 mm. Habitan zonas pelágicas, litorales y bentónicas. Los cladóceros son sensibles a los cambios en el estado trófico del lago, juegan un papel importante en los ecosistemas de agua dulce debido a su posición fundamental en la red trófica como depredadores de peces, son importantes en el ciclo de nutrientes en agua dulce (Korhola y Rautio, 2002; Szeroczynska, 2002).

Aparecen en sedimentos lacustres principalmente en partes del cuerpo desarticuladas, como escudos cefálicos, caparazones y post abdomen (Korhola y Rautio, 2002). Una característica taxonómica es la presencia de un caparazón bivalvo que cubre principalmente al tórax y el post abdomen y también presentan un par de antenas, anténulas, estructuras bucales y postabdomen. El postabdomen, está compuesto de quitina, es la estructura que tiene una muy buena preservación en el sedimento (Elías-Gutiérrez *et al.* 2008). Los cladóceros, habitan principalmente en cuerpos acuáticos de agua dulce y se encuentran asociados al fondo o a las zonas litorales; estos, responden a diferentes variables ambientales (Elías-Gutiérrez *et al.* 2008; Kotov *et al.* 2013; Szeroczynska 2002). La composición taxonómica de estos restos se ha utilizado para rastrear cambios pasados en el medio ambiente (eutrofización, niveles de los lagos, clima, por mencionar algunos) (Korhola y Rautio, 2002).

## **Quironómidos**

Los quironómidos son un grupo de insectos acuáticos, que pertenecen a la Familia: Chironomidae, dentro de ella están las subfamilias Orthoclaadiinae, Tanypodinae y Chironominae ésta incluye a las tribus Chironomini, Tanytarsini y Pseudochironomini (Walker 1987). Tienen una amplia distribución, con una abundancia y diversidad relativamente altas en ciertos ambientes, siendo que las larvas y pupas son muy sensibles a cambios ambientales en especial a la temperatura (Bradley 2015; Laprida *et al.* 2014; Pérez *et al.* 2013). Su ciclo de vida consta de los siguientes estadios: huevo, larva, pupa y adulto. El estadio larvario de estos insectos se caracteriza por poseer una cápsula cefálica, esta es una estructura quitinizada, la cual presenta caracteres morfológicos que permiten su identificación taxonómica, tales como, placas ventroventrales, el mentum o lígula

(Bradley 2015; Massaferrero *et al.* 2012). Las cápsulas cefálicas son la base para estudios paleolimnológicos por su buena conservación en los sedimentos, gracias a que esta estructura está compuesta de quitina. Estos estudios han servido para evaluar la calidad del agua, la salinidad y eutrofización (Bradley 2015; Laprida *et al.* 2014; Massaferrero *et al.* 2012).

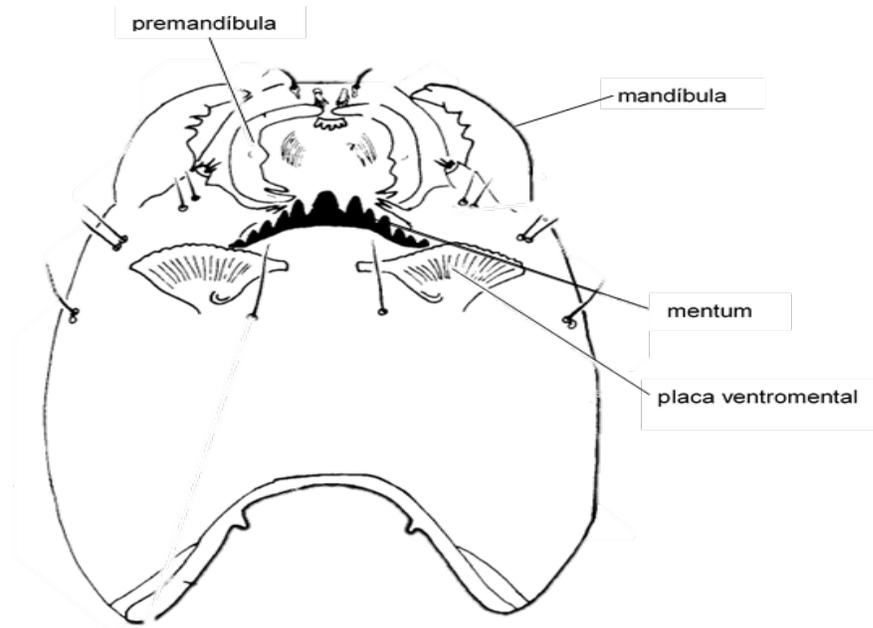


Figura 4. Cápsula cefálica (modificado de Epler 2001).

## JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la CONAGUA (2009) y la CFE (2012) desde el año 2003, las autoridades y habitantes del PNLM reportaron cambios en la coloración de algunos lagos y presencia de olores fétidos y mortandad de peces; asimismo, se ha reportado que los principales problemas que afectan a los lagos son las descargas de aguas negras por el Río Comitán y asentamientos humanos dentro del PNLM, cambio de uso de suelo por la agricultura, uso de plaguicidas, inducción de pastizales e incendios forestales (CONANP 2007). En el estudio de Alcocer *et al.* (2015) se identifican

claramente lagos que tienen una alta turbidez, denotando un estado “impactado”, dentro de los que se encuentra el lago San Lorenzo.

El presente estudio contribuirá a documentar los procesos de cambio reciente que han afectado a los lagos del PNLM, en particular al lago San Lorenzo, aportando evidencias que permitan entender qué factores han influido en su estado actual. Asimismo, este trabajo aportará información sobre la ecología y diversidad de los cinco grupos de bioindicadores en esta zona.

## **HIPÓTESIS**

Si los cambios climáticos y antropogénicos que han impactado en el PNLM generaron cambios en las características limnológicas del lago San Lorenzo, entonces, dichos cambios se verán reflejados en la composición de las especies de los bioindicadores analizados.

Si el lago de San Lorenzo ha presentado periodos de eutrofización, entonces especies como *Aulacoseira granulata*, *Discostella pseudostelligera* y *Cyclotella meneghiniana* serán encontradas en la secuencia sedimentaria estudiada.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Documentar los cambios de los últimos cincuenta años en el cuerpo de agua del lago San Lorenzo, con base en el análisis de distintos bioindicadores (diatomeas, amebas testadas, ostrácodos, cladóceros y quironómidos).

### **Objetivos particulares**

- Realizar la identificación taxonómica de las especies de diatomeas, amebas testadas, ostrácodos, cladóceros y quironómidos.

- Relacionar las afinidades ecológicas de los bioindicadores con cambios en las condiciones limnológicas del cuerpo de agua.
- Registrar la señal del titanio en los sedimentos del lago de San Lorenzo y comparar dicha señal con el análisis de los bioindicadores.
- Analizar si los cambios en las condiciones limnológicas del lago del San Lorenzo están relacionadas con la actividad antropogénica.

## ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM) se encuentra en la altiplanicie de la región sureste del estado de Chiapas, cerca de la frontera con Guatemala ( $16^{\circ} 04'40''$  y  $16^{\circ} 10'20''$  N;  $91^{\circ} 37'40''$  y  $91^{\circ} 47'47''$  O). La altitud del parque oscila entre los 1,500 y 1,800 msnm. Abarca una superficie de 64.25 km<sup>2</sup> y comprende parte de los municipios La Independencia y La Trinitaria. Fue declarado Área Natural Protegida en el año 1959, con motivo de ser una región de gran importancia ambiental debido a su biodiversidad y recursos hidrológicos, también es reconocido como área de importancia para la conservación de las aves y humedal de importancia mundial RAMSAR (CONANP 2007; Durán-Calderón *et al.* 2014).

## Geología

El PNLM se localiza en la provincia tectónica de Fallas de Transcurrencia del Cinturón Chiapaneco de Pliegues (Ortega-Gutiérrez *et al.* 1992). Dicha provincia ha estado sujeta plegamientos y fallamientos, los cuales actuaron en distintas direcciones generando el estilo de deformación que conforma el marco tectónico-estructural actual (CONANP 2007; Durán-Calderón *et al.* 2014; Mora *et al.* 2016). En el PNLM predominan rocas carbonatadas (calizas-dolomías) de origen marino y transicional del Cretácico inferior (CONANP 2007; Mora *et al.* 2016).

El PNLM es un sistema kárstico, es decir, que se desarrolló a partir de la disolución de las rocas carbonatadas que dominan en la región y se caracteriza por un complejo sistema de cavidades subterráneas (Durán-Calderón *et al.* 2014). Siguiendo la clasificación geomorfológica de Mora *et*

*al.* (2016), el lago San Lorenzo forma parte de la unidad geomorfológica XII, unidad que se caracteriza por ser una planicie kárstica al noroeste del PNLM (Durán-Calderón *et al.* 2014).

## **Clima**

El clima que domina en el PNLM es templado húmedo con lluvias todo el año. La precipitación total anual es de 2,279 mm, concentrada entre mayo a diciembre (septiembre es el mes con mayor precipitación). La temperatura media anual es de 17.5 °C (Alcocer *et al.* 2017; CONANP 2007; 2011).

## **Vegetación**

La vegetación predominante PNLM son bosques de pino, pino-encino-liquidámbar y mesófilo de montaña, dichas comunidades albergan una importante riqueza biológica que incluye algunas especies protegidas. Además, se registra la presencia de vegetación riparia, secundaria y zonas de cultivo (Inventario Forestal Nacional 2000-2001). La vegetación circundante al lago San Lorenzo está fuertemente impactada, ya que hay abundantes zonas agrícolas y vegetación secundaria o “*acahuales*”, esta última, se localiza principalmente en los bordes de los caminos (CONANP 2007).

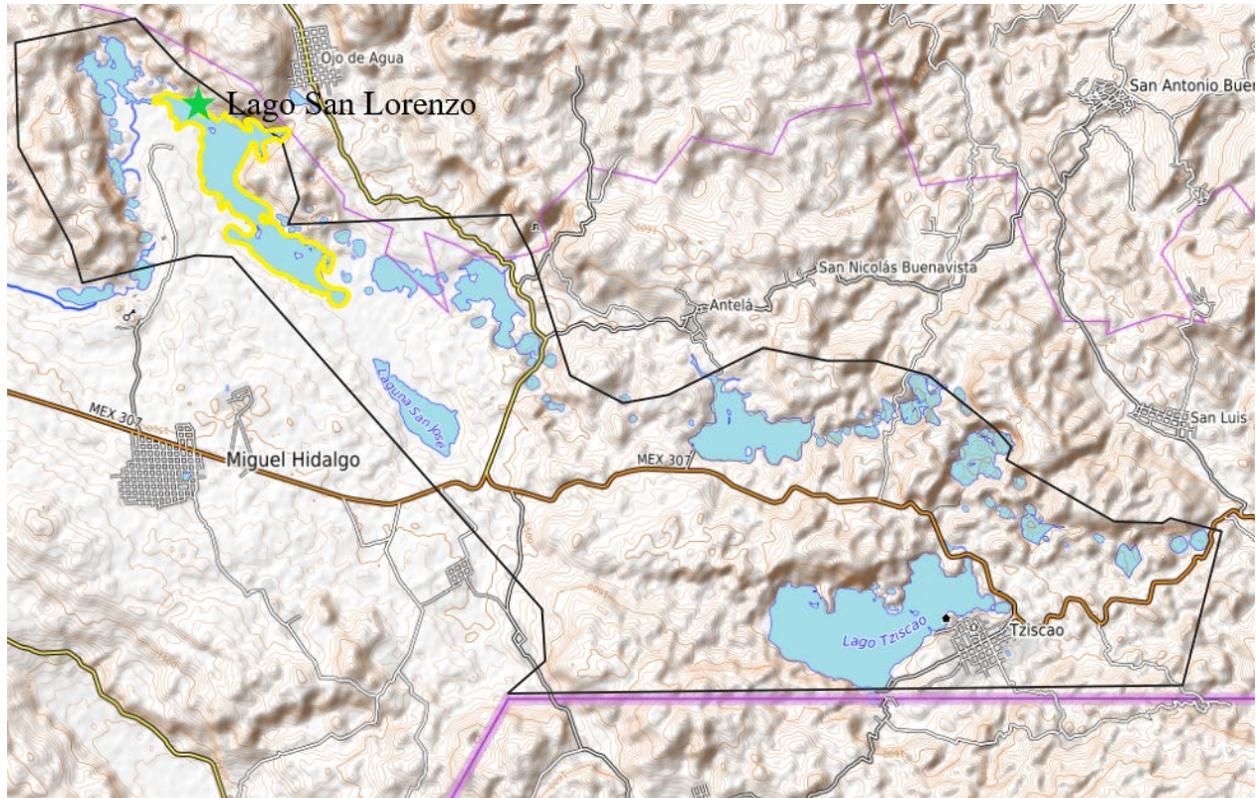


Figura 5. Ubicación del lago San Lorenzo (tomado de Google Earth 2020).

### Los lagos en PNLM

Más de 60 lagos conforman el PNLM, divididos en dos regiones principales, los lagos ubicados en la planicie del noroeste del parque son alimentados principalmente por el Río Grande de Comitán, en el que desembocan las aguas negras de la ciudad de Comitán de Domínguez y zonas urbanas circundantes. Estos lagos están comunicados entre sí por conductos subterráneos y canales superficiales y en su mayoría se encuentran perturbados al presentar aguas con turbidez y niveles de nutrientes elevados (Alcocer *et al.* 2017, Mora *et al.* 2016). Por otro lado, los lagos ubicados en la zona montañosa del sureste del parque son alimentados principalmente por aguas subterráneas, no tienen comunicación superficial entre ellos y se caracterizan por presentar aguas transparentes y oligotróficas (Alcocer *et al.* 2017, Mora *et al.* 2016).

## lago San Lorenzo

El lago San Lorenzo es parte de la cadena de lagos que reciben las descargas del Río Grande de Comitán además de tener alimentación subterránea (Figura 5). Las características fisicoquímicas del lago San Lorenzo se resumen en la Tabla 1. Alcocer *et al.* (2016) lo caracterizan como un lago grande y poco profundo y Vera Franco *et al.* (2015) como un lago mesotrófico. Dicho cuerpo de agua estuvo entre el grupo de lagos que fueron reportados en 1986 por presentar cambio de coloración de agua cristalina a aguas verde amarillento (Melo y Cervantes 1986). Además, en trabajos más recientes se ha reportado el posible impacto antropogénico en sus características (Alcocer *et al.* 2015; CONANP 2011).

Tabla 1. Variables fisicoquímicas del lago San Lorenzo.

Lago San Lorenzo			
Área (km <sup>2</sup> )	181.3 <sup>1</sup>	pH	9.07±0.03 <sup>2</sup>
Profundidad máxima	67 <sup>1</sup>	Disco de Secchi (m)	Temporada seca 0.55
Profundidad media	11.81		Temporada lluvias 0.76 <sup>3</sup>
Clorofila <i>a</i> (µg / L)	43.8 <sup>4</sup>	EC (µ s/cm)	617 ± 14 <sup>2</sup>
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	84.5 ± 6.3 <sup>2</sup>	Categoría	Grande y poco profundo <sup>1</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	191.4 ± 22.5 <sub>2</sub>	Estado trófico	Mesotrófico <sup>4</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	138.8 ± 20.1 <sub>2</sub>		

<sup>1</sup> Alcocer *et al.* 2016, <sup>2</sup>Mora *et al.* 2017,<sup>3</sup> Orozco 2016, <sup>4</sup> Vera-Franco *et al.* 2015

## ANTECEDENTES

Los cambios de coloración detectados en algunos lagos dentro del PNLM dieron pie a que se iniciaran estudios de investigación para documentar sus características limnológicas y biológicas. Recientemente, se han realizado diversos estudios, de los cuales destacan el de geomorfología realizado por Duran *et al.* (2014) y el de Mora *et al.* (2017) en donde se distinguen los dos grupos de lagos, los de planicie, impactados en el noroeste y los de montaña, no impactados al sureste. El trabajo de Alcocer *et al.* (2017) donde se demuestra que la mayoría de los lagos de planicie noroeste se encuentran impactados, teniendo baja visibilidad y altos niveles de nutrientes mientras que los lagos en la zona montañosa sureste tienen una mayor transparencia y bajos niveles de nutrientes. Almeida (2014) confirmó que los lagos no impactados tienen una baja biomasa fitoplanctónica mientras que algunos de los lagos impactados (Balamtetik) se caracterizan por una alta biomasa fitoplanctónica dominada por diatomeas (*Cyclotella* spp.) pero la mayoría de los lagos impactados tienen una alta biomasa fitoplanctónica dominada por cianobacterias filamentosas, y este es el caso del lago San Lorenzo.

Una contribución muy importante para el conocimiento de estos lagos es el estudio de batimetría y morfometría de 18 de estos cuerpos de agua realizado por Alcocer *et al.* (2016) donde determinan que los lagos tienen morfologías y dimensiones muy variadas como resultado de su origen kárstico, incluyendo algunos lagos como Cinco Lagos o Pojoj que llegan a profundidades de > 100 m. Por otra parte, diversos estudios se han enfocado a definir el nivel de contaminación de los lagos, por ejemplo Hernández (2015), detectó la presencia de coliformes fecales en dos sitios a lo largo del cauce del Río Grande de Comitán y en los lagos Balamtetik, Chaj-Chaj y Chincultik. Orozco (2016) identificó que en los lagos impactados (turbios), como San Lorenzo, los macroinvertebrados bentónicos están dominados por la familia Chironomidae mientras que Bello (2016) hizo un estudio sobre el plaguicida paraquat, el cual tiene compuestos que son muy solubles en agua y muy persistentes en el suelo; pero encontró que los lagos estudiados (incluido San Lorenzo) no estaban contaminados por este plaguicida.

Pocos son los estudios sobre bioindicadores acuáticos en el PNLM, entre ellos se encuentra el realizado en el Lago Balamtetik por Caballero *et al.* (2019) en el que se presenta una reconstrucción de las perturbaciones antropogénicas recientes en este lago de acuerdo con los resultados de análisis

geoquímicos y de diatomeas en un núcleo de sedimento. Cabe mencionar que Balamtetik es el cuerpo de agua receptor del Río Grande de Comitán, por lo que el impacto de los aportes del río a este lago se esperaba que fuera importante en la historia reciente de este cuerpo de agua. En este estudio se estableció un modelo de edad basado en  $^{137}\text{Cs}$  que permitió estimar una temporalidad aproximada de 60 años a la secuencia estudiada. En su análisis de diatomeas encontraron que las especies dominantes fueron *Stephanodiscus hantzschii* fo. *tenuis*, *Cyclotella meneghiniana*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Staurosira construens* y *Discostella stelligera*.

En general las diatomeas tuvieron tres máximos de abundancia que se asociaron con máximos del elemento fósforo (P), con altos valores de calcio (Ca), de carbono orgánico (COT) e inorgánico (CIT). Todos estos bioindicadores permitieron identificar tres periodos repetidos de perturbación en el lago asociados con una alta erosión de los suelos, eutrofización y condiciones anóxicas en el fondo del lago. Los primeros dos de estos períodos de perturbación se centran dentro de la década de 1950s y el tercero entre 1990 y 2010. Es probable que las perturbaciones antropogénicas que presentó Balamtetik también se vean reflejadas en San Lorenzo; puesto a que este es el lago contiguo de Balamtetik y está conectado a San Lorenzo por vía subterránea y superficial.

## MÉTODO

### Trabajo de campo

En julio del 2013 un equipo de trabajo encabezado por la Dra. Margarita Caballero, del Laboratorio de Paleolimnología, Instituto de Geofísica, UNAM y el Dr. Alexander Correa, del Instituto de Geología, UNAM colectaron dos núcleos sedimentarios procedentes del lago San Lorenzo mediante un equipo de perforación UWITEC: Liq13-G-I de 50 cm y Liq13-G-II de 41 cm de longitud.

### Trabajo de laboratorio y gabinete

**Muestreo** La secuencia Liq13-G-I fue seccionada en mitades longitudinales y fotografiada (Fig. 6) mientras que la secuencia Liq13-G-II fue seccionada en rebanadas de 1 cm de grosor

mediante un émbolo que empuja el sedimento por la parte inferior del tubo, permitiendo recuperar la muestra en la parte superior (Fig. 6). La secuencia Liq-13-G-II fue seleccionada para realizar los análisis de bioindicadores y la muestra de mayor profundidad se envió a un laboratorio comercial (*Beta Analytic*) para su datación por radiocarbono. De esta secuencia se seleccionaron 13 muestras para los análisis de bioindicadores, tomando submuestras de 1 cm<sup>3</sup> para diatomeas, amebas testadas, ostrácodos, cladóceros y quironómidos. El resto de las muestras se reservó para análisis geoquímicos.

**Diatomeas** Las muestras fueron congeladas, liofilizadas y pesadas para proceder con su limpieza, tomándose 0.5 g de sedimento seco. Se trataron con ácido clorhídrico diluido (HCl 10 %) para la eliminación de carbonatos, mientras que, para la eliminación de materia orgánica y para dispersar el sedimento, se utilizó peróxido de hidrógeno con pirofosfato de sodio (H<sub>2</sub>O 30 % + Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). Finalmente se agregó ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) hasta la eliminación total de materia orgánica. Las muestras fueron enjuagadas tres veces mediante decantaciones sucesivas de 24 horas con una línea de vacío y el sedimento limpio fue trasvasado a botellas de 30 mL.

Para el montaje de las muestras se realizaron diluciones (1:10, 1:20 o 1:30) con la finalidad de observar la mejor dispersión de las diatomeas y se tomaron alícuotas de 200 µL para la elaboración de preparaciones permanentes que se montaron con Naphrax (índice de refracción = 1.73) y se etiquetaron. Las preparaciones permanentes se observaron bajo un microscopio óptico OLYMPUS BX50 con el objetivo de 100x. En cada preparación se realizaron conteos por transectos hasta llegar a un mínimo de 100 valvas. Se tomaron microfotografías utilizando la cámara OLYMPUS DP-20 para apoyar en la identificación taxonómica, tomando medidas morfométricas de las diatomeas encontradas. La identificación taxonómica se hizo con base en literatura especializada (Krammer y Lange-Bertalot 1988; 1991; Krammer 1997) y la base de datos Diatoms of North America (<https://diatoms.org/>). Posteriormente se realizó una investigación bibliográfica sobre la morfología y ecología de las especies. También se realizó una descripción morfológica de las especies y géneros relevantes.

Los datos obtenidos de los conteos de las preparaciones, especies *versus* muestras, fueron transformados en abundancias relativas (porcentaje) y para cada una de las muestras se realizó el cálculo de abundancia total, expresada como concentración de valvas por gramo de sedimento seco (valvas/g ss), mediante la siguiente fórmula:

$$Abt = \frac{T * A * V_t}{a * v_{pp} * x}$$

Donde:

A: Área del cubreobjetos

Vt: Volumen final de la muestra.

a: Área del campo visual del transecto.

Vpp: Alícuota de la preparación (200 µL en todos los casos).

x: Gramos iniciales de sedimento.

Estos datos se integraron al software Tilia 1.7.16 para obtener la gráfica de abundancia relativa de diatomeas, permitiendo visualizar la distribución de las especies a lo largo de la secuencia estratigráfica.

**Amebas testadas** Se seleccionaron 13 muestras a lo largo de la secuencia sedimentaria, de cada una se colocó 1 cm<sup>3</sup> en una probeta de 10 ml con agua destilada, dejando pasar un lapso de 24 horas para que se decantara. Posteriormente, se tamizó el sedimento con un tamiz de luz de malla de 63 µm y se revisó primero la fracción mayor bajo un microscopio estereoscópico OLYMPUS SZX12 para buscar las testas. En las muestras con muy baja abundancia de testas se revisó también la fracción menor. Las testas se extrajeron con ayuda de un pincel del número 00, al cual se le quitaron varias cerdas, y se montaron utilizando glicerina. Los individuos encontrados se observaron bajo un microscopio óptico OLYMPUS BX50 utilizando una cámara OLYMPUS DP-20 para agrupar individuos con las mismas características morfológicas en una gota de glicerina. Posteriormente, se observaron las características morfológicas de la testa para su identificación, siguiendo a Sigala *et al.* (2016), Patterson (2014) y Reinhardt *et al.* (1998). Se tomaron fotografías para ver detalles de las testas con las observaciones. Estas se corroboraron y se confirmaron con las micrografías bajo un microscopio electrónico de barrido (JEOL JEM-6000-PLUS). Posteriormente se realizó

una investigación bibliográfica sobre la ecología de las especies y se realizó una breve descripción; añadiendo una descripción morfológica de las especies y géneros relevantes.

Finalmente se calculó el índice de diversidad de Shannon (SDI), este índice es utilizado para examinar la diversidad de las especies encontradas en cada muestra. De acuerdo con Patterson y Kumar (2002), este índice puede ser relevante para determinar la salud de un ambiente acuático mediante el uso de amebas testadas como bioindicadores. La ecuación de este índice es:

$$SDI = \sum_{i=1}^S \left( \frac{X_i}{N_i} \right) \times \ln \left( \frac{X_i}{N_i} \right)$$

Donde:

$X_i$ = abundancia de cada taxón en la muestra  $i$

$N_i$ = abundancia total de amebas testadas en la muestra  $i$

$S$ = riqueza de especies de la muestra

**Ostrácodos** Los ostrácodos fueron extraídos de la misma muestra utilizada para amebas testadas, revisando bajo el microscopio estereoscópico OLYMPUS SZX12 para buscar las valvas. Las valvas y caparazones se extrajeron con ayuda de un pincel del número 0 y se colocaron en seco en placas micropaleontológicas. La identificación taxonómica se basó en las características morfológicas de las valvas (tamaño, forma y ornamentación) de acuerdo con Pérez *et al.* (2010a) y Cohuo (2012). Se tomaron micrografías para corroborar las identificaciones previas con un microscopio electrónico de barrido (JEOL JEM-6000-PLUS). Finalmente se realizó una investigación bibliográfica sobre la morfología y ecología de algunas de las especies registradas en el sitio de estudio, y se realizó una descripción morfológica de las especies y géneros relevantes.

**Cladóceros y Quironómidos** En las mismas muestras que para amebas testadas y cladóceros, se realizó una segunda revisión en la que fueron extraídas las estructuras observadas de estos organismos. Con respecto a los cladóceros, se extrajeron los escudos cefálicos y anténulas; los cuales se limpiaron con ayuda de un pincel de una cerda y se montaron en laminillas temporales

con glicerina para fotografiarlos e identificarlos con apoyo de literatura especializada (Charqueño 2017). Con respecto a los quironómidos, se extrajeron las cápsulas cefálicas, se limpiaron con KOH al 8 % y se montaron en laminillas permanentes usando Hydromatrix. Los ejemplares se fotografiaron y finalmente se identificaron con apoyo de literatura especializada (Epler 2001).

**Fluorescencia de R-X** – Todas las muestras fueron medidas con un equipo portátil de fluorescencia de R-X ThermoScientific Niton XL3t 95 con el que se determinaron las concentraciones de Ti a lo largo de la secuencia sedimentaria. El Ti es un elemento persistente en material terrígeno, asociado con un mayor aporte sedimentario de la cuenca al lago.

## **RESULTADOS**

### **Secuencia Sedimentaria y modelo de edad**

La secuencia sedimentaria estudiada (Liq13-G-II) tuvo una longitud de 41 cm (Figura 6) y estuvo constituida por limos gris claro a negro con cavidades por degasamiento del sedimento y en general una baja reacción al HCl, salvo por los horizontes 16-15 cm y 9-8 cm que presentaron una reacción más intensa. Los últimos 10 cm tuvieron una textura más fina y con mayor saturación de agua.

Se desarrolló un modelo de edad considerando la fecha de colecta (2013) para la cima de la secuencia y la datación por  $^{14}\text{C}$  para la base de la secuencia (41 cm), la cual arrojó una edad convencional de 102.3 +/- 0.3 pMC (porcentaje de carbón moderno). Esta edad fue calibrada con el programa *CALIBomb* (Reimer y Reimer 2004), por medio del cual se determinó que la base de la secuencia data del año 1956. Con estas dos edades se calculó una tasa promedio de sedimentación para esta secuencia de 7.2 mm/año. Los datos del modelo de edad se presentan de una forma gráfica en la Fig.7, donde la tasa de sedimentación corresponde con la pendiente.



Figura 6. Fotografía de la secuencia sedimentaria Liq13-G-I y del submuestreo de la secuencia Liq13-G-II, lago San Lorenzo, Chiapas.

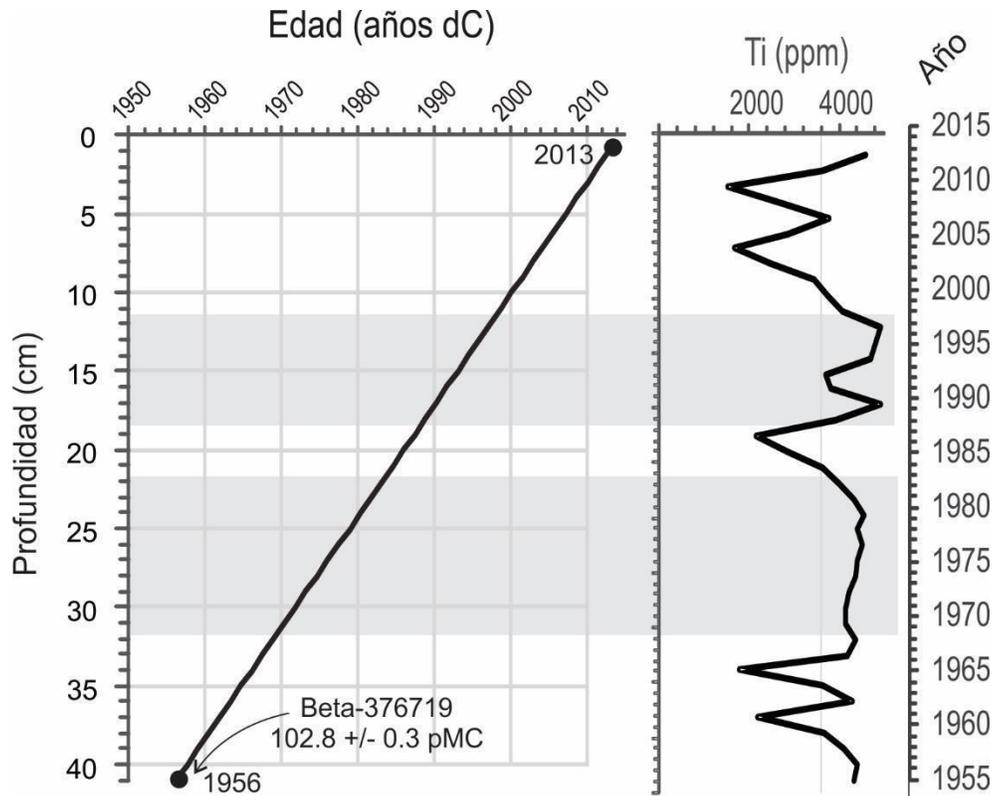


Figura 7. Modelo de edad y concentración de Ti en ppm de los sedimentos de la secuencia Liq-13-G-II, lago San Lorenzo, Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México.

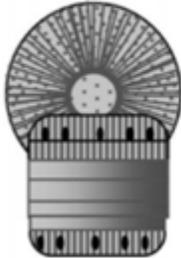
Las concentraciones de Ti a lo largo de la secuencia mostraron valores variables, pero en general presentaron dos intervalos de valores máximos entre los 32 a 22 cm (años 1971 a 1986) y entre los 18 y 12 cm (años 1991 a 2001), lo que indica que existieron dos momentos con un mayor aporte de sedimentos de la cuenca al lago.

### Diatomeas

En las trece muestras que se analizaron se identificaron un total de 48 taxones de diatomeas de las cuales 22 se lograron identificar a nivel especie. A continuación, se presenta el listado taxonómico de acuerdo con la clasificación Medlin y Kaczmarska (2004).

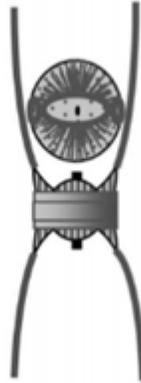
**Clase**

**Coscinodiscophyceae**



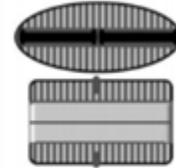
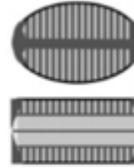
**Clase**

**Mediophyceae**



**Clase**

**Bacillariophyceae**



**División** Bacillariophyta Karsten 1928

**Subphylum** Bacillariophytina Medlin & Kaczmarska 2004

**Clase** Bacillariophyceae Haeckel 1878

**Subclase** Bacillariophycidae D. G. Mann (1990)

**Orden** Bacillariales Hendey 1937

**Familia** Bacillariaceae Ehrenberg 1831

**Género** *Hantzschia* Grunow 1877

*Hantzschia* sp.

**Género** *Nitzschia* Hassall 1845

*Nitzschia amphibia* Grunow 1862

*Nitzschia amphibioides* Hustedt 1942

**Orden** Cocconeidales E. J. Cox 2015

**Familia** Achnanthaceae D. G. Mann 1990

**Género** *Achnanthidium* Kützing 1844

*Achnanthidium exiguum* (Hustedt) M.A.Harper.

**Familia** Cocconeidaceae Kützing 1844

**Género** *Cocconeis* Ehrenberg 1831

*Cocconeis placentula* Ehrenberg 1831

**Orden** Cymbellales Round & R. M. Crawford 1990

**Familia** Cymbellaceae Kützing 1844

**Género** *Cymbella* C. Agardh 1830

*Cymbella* sp.

**Familia** Gomphonemataceae Kützing 1844

**Género** *Encyonema* Kützing 1834

*Encyonema* sp. Kützing 1834

**Género** *Gomphonema* Ehrenberg 1832

*Gomphonema acuminatum* Ehrenberg 1832

*Gomphonema affine* Kützing 1844

*Gomphonema gracile* Ehrenberg 1838

- Gomphonema parvulum* Kützing 1849
- Familia** Rhoicospheniaceae Topachevs'kyj & Oksiyuk 1960  
**Género** *Rhoicosphenia* Grunow 1860  
*Rhoicosphenia* sp.
- Orden** Mastogloiales D. G. Mann  
**Familia** Mastogloiaceae Mereschowsky 1903  
**Género** *Mastogloia* Thwaites ex W. Smith 1856  
*Mastogloia smithii* Thwaites ex W. Smith 1856
- Orden** Naviculales Bessey 1907  
**Familia** Diploneidaceae D. G. Mann  
**Género** *Diploneis* Ehrenberg ex Cleve 1894  
*Diploneis elliptica* (Kützing) Cleve 1894  
*Diploneis* sp.
- Familia** Naviculaceae Kützing  
**Género** *Caloneis* Cleve 1894  
*Caloneis* sp.  
**Género** *Navicula* Bory 1822  
*Navicula gregaria* Donkin 1861
- Familia** Sellaphoraceae  
**Género** *Sellaphora* Mereschowsky 1902  
*Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschowsky 1902
- Familia** Diadesmidaceae D. G. Mann  
**Género** *Diadesmis*  
*Diadesmis confervacea* Kützing 1844  
**Género** *Luticola* D. G. Mann 1990  
*Luticola mutica* (Kützing) D. G. Mann 1990
- Familia** Pinnulariaceae D. G. Mann  
**Género** *Pinnularia* Ehrenberg 1843  
*Pinnularia* sp.
- Orden** Rhopalodiales D. G. Mann 1990  
**Familia** Rhopalodiaceae (Karsten) Topachevs'kyj & Oksiyuk 1960  
**Género** *Epithemia* Kützing 1844  
*Epithemia turgida* (Ehrenberg) Kützing 1844  
*Epithemia* sp.
- Orden** Surirellales D. G. Mann 1990  
**Familia** Surirellaceae Kützing 1844  
**Género** *Surirella* Turpin 1828  
*Surirella* sp.
- Subclase** Eunotiophycidae D. G. Mann 1990  
**Orden** Eunotiales P.C. Silva 1962  
**Familia** Eunotiaceae Kützing 1844  
**Género** *Eunotia* Ehrenberg 1838  
*Eunotia* sp.
- Subclase** Fragilariophycidae Round (1990)  
**Orden** Fragilariales Medlin 2016  
**Familia** Staurosiraceae Kützing 1844  
**Género** *Staurosira* Ehrenberg 1843

*Staurosira construens* Ehrenberg 1843

**Orden** Licmophorales Kützing 1844

**Familia** Ulnariaceae E. J. Cox 2015

**Género** *Ulnaria* (Kützing) Compère in Jahn *et al.* 2001  
*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère 2001

**Subphylum** Bacillariophytina Medlin & Kaczmarska 2004

**Clase** Coscinodiscophyceae R. M. Crawford & D.G. Mann 1990

**Orden** Aulacoseirales R. M. Crawford 1990

**Familia** Aulacoseiraceae R. M. Crawford 1990

**Género** *Aulacoseira* Thwaites 1848  
*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 1979

**Subphylum** Coscinodiscophytina Medlin & Kaczmarska 2004

**Clase** Mediophyceae Medlin & Kaczmarska 2004

**Orden** Stephanodiscales Nikolaev & Harwood

**Familia** Stephanodiceae I.V.Makarova 1986

**Género** *Cyclotella* (Kützing) Brébisson 1838  
*Cyclotella meneghiniana* Kützing 1844  
*Cyclotella petenensis* Sylvestre, Paillès & J. Escobar 2018

**Género** *Discostella* V.Houk & R.Klee 2004  
*Discostella pseudostelligera* (Hustedt) Houk & Klee 2004

**Género** *Stephanodiscus* Ehrenberg 1845  
*Stephanodiscus hantzschii fo. tenuis* (Hustedt) Håkansson & Stoermer 1984.  
*Stephanodiscus oregonicus* (Ralfs) Håkansson 1986

A continuación, se presentan las descripciones de las principales especies de diatomeas identificadas con base en bibliografía especializada y se incluyen mediciones y observaciones sobre los ejemplares observados en las muestras de San Lorenzo. Se presenta también información sobre su distribución ecológica según la bibliografía consultada. Cabe aclarar que todos los taxa se identificaron pero en el siguiente listado sólo se encuentran aquellos que se tomaron en cuenta para el análisis paleoambiental dada su mayor abundancia en los sedimentos.

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 1979.

**Descripción morfológica.** En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II) los frústulos se observaron solitarios o formando filamentos de dos a cuatro células y por lo menos una de las espinas conectivas destacaba por su mayor tamaño. Manto con areolas prominentes, de forma circular y algunas ligeramente cuadrangulares, formando hileras que en la mayoría de las valvas se observaron rectas. Los distintos tamaños de los ejemplares observados se encontraron dentro

del intervalo reportados en la bibliografía: diámetro 9-18  $\mu\text{m}$ ; estrías 10-20 en 10  $\mu\text{m}$ ; areolas: 10-15 en 10  $\mu\text{m}$  (Figura I-L).

**Ecología.** Especie cosmopolita de agua dulce, planctónica o meroplanctónica que también se ha reportado en el perifiton, es característica de ambientes lénticos (Mora *et al.* 2016; Wang *et al.* 2009), se suele encontrar en aguas neutras hasta levemente alcalinas (pH: 7.2-8.2.) (Foged 1975; Gasse 1986; Gómez *et al.* 1995; Lowe 1974), con conductividad eléctrica media. Tiene una amplia distribución en estados tróficos que va desde ambientes oligotróficos a eutróficos; sin embargo, se asocia principalmente con ambientes eutróficos con baja luminosidad (Gómez *et al.* 1995; Bicudo *et al.* 2016; Montoya-Moreno y Aguirre-Ramírez, 2013; Wang *et al.* 2009).

*Cyclotella meneghiniana* Kützing 1844.

**Descripción morfológica.** En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II) Diámetro 9-19  $\mu\text{m}$ ; estrías 8-10 en 10  $\mu\text{m}$ . La cara valvar es circular. La zona marginal tiene estrías (Figura C-E).

**Ecología.** Especie de agua dulce, planctónica, cosmopolita, frecuente y abundante en ríos y lagos, en diferentes condiciones tróficas (Kiss *et al.* 2012). Tiene una gran tolerancia a la salinidad y la alcalinidad por lo que es usual encontrarla en aguas salinas y salobres (Sui *et al.* 2016). Se ha reportado en aguas eutróficas (Padisak *et al.* 2009) y también se le ha encontrado asociada con sitios altamente contaminados (Bere 2014). Puede crecer en una variedad de hábitats cuando no se encuentran en una situación altamente competitiva (Wotjal y Kwandrans 2006). De acuerdo con el estudio de Hassan y De Francesco (2017) la disolución de *C. meneghiniana* está significativamente relacionada con la química del agua y, en particular, con las concentraciones de salinidad, carbonato, bicarbonato, pH y sílice. Se ha reportado que la disolución se da en aguas alcalinas con un pH muy superior a 9.0 (Iler 1979).

*Cyclotella petenensis* Sylvestre, Paillès & J. Escobar 2018

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II) el área central tuvo 5-12 fultopórtulas y también se ve el área central tangencialmente ondulada. Diámetro 24-26.7  $\mu\text{m}$ ; estrías 10-16  $\mu\text{m}$ .

***Discostella pseudostelligera*** (Hustedt) Houk & Klee 2004.

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II) algunos individuos no tuvieron el patrón parecido a una estrella. Diámetro 7.14-8.64  $\mu\text{m}$ ; estrías 8-20 en 10  $\mu\text{m}$  (Figura 9 A-B).

**Ecología.** Especie de agua dulce, cosmopolita, planctónica y perifítica, que se asocia a aguas ricas en nutrientes, aunque también está en oligotróficas (Kiss *et al.* 2012; Medvedeva *et al.* 2009).

***Stephanodiscus hantzschii* fo. *tenuis*** (Hustedt) Håkansson & Stoermer 1984.

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Diámetro 15-23  $\mu\text{m}$ ; estrías 7-9 en 10  $\mu\text{m}$ . Los ejemplares tuvieron estrías punteadas radiales en filas uniseriadas desde el centro, que se vuelven biseriadas. Las espinas son cortas (Figura G-H).

**Ecología.** Especie planctónica que prolifera en ambientes limitados en sílice (Stoermer *et al.* 1979 Jeong *et al.* 2006; Round *et al.* 1990) y que tolera niveles de nutrientes elevados y aguas turbias.

***Mastogloia smithii*** Thwaites ex W. Smith 1856.

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II) los ejemplares presentaron areolas redondeadas y pronunciadas, en el área central son más pequeñas, rafe con una ligera ondulación y sus extremos terminan con una curva. Largo 29.51-35.7  $\mu\text{m}$ ; ancho 7-9.61  $\mu\text{m}$ ; estrías 18-20 en 10  $\mu\text{m}$ ; poros 16-19 en 10  $\mu\text{m}$  (Figura W).

**Ecología.** Especie cosmopolita (Gaiser *et al.* 2010), descrita como oligohalina, capaz de prosperar en agua dulce a salobre (Patrick y Reimer 1966). Se ha reportado en lagos poco profundos y kársticos, tiene preferencia por aguas alcalinas con gran cantidad de calcio y muy sensible a la contaminación (Martínez-Goss y Evangelista 2011; Novelo *et al.* 2007; Sivaci *et al.* 2008).

*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère 2001.

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II) los ejemplares tienen estrías más cortas en la parte central, que se marcan más en el margen y en la zona más central hay estrías fantasmas. Largo 77-80.96  $\mu\text{m}$ ; ancho 3.37-10  $\mu\text{m}$ ; estrías 10-12 en 10  $\mu\text{m}$  (Figura Z).

**Ecología.** Especie cosmopolita, planctónica (Buendía-Flores *et al.* 2015). Se ha encontrado en ambientes lénticos y lóticos (Dunck *et al.* 2012). Presente en aguas alcalinas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto (Segura-García 2011).

Se tomaron fotografías de otros taxa que si bien, no se hizo una descripción morfológica y tampoco de su ecología debido a que fueron pocos individuos para ser contemplados dentro del análisis, se decidió que se quedara como un registro. Algunos de estos taxa se pueden apreciar en la Figura 9 tales como *Staurosira construens* (M), *Achnantheidium exiguum* (N-Ñ), *Nitzschia* spp. (O-P), *Diploneis* spp. (Q-R), *Luticola mutica* (S), *Encyonema* spp. (T), *Gomphonema* spp. (U-V) y *Epithemia* spp. (Z).

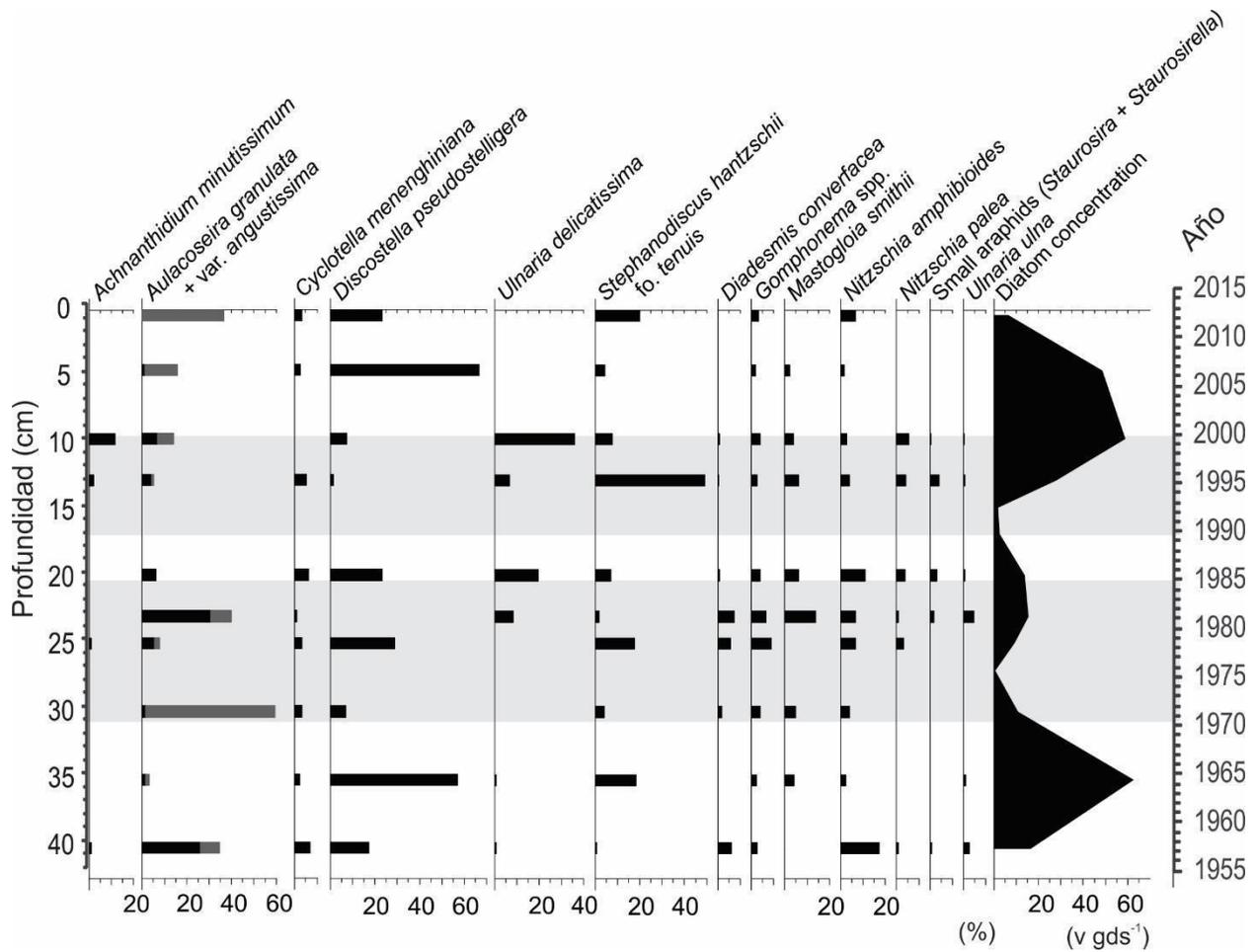


Figura 8. Diagrama de abundancia relativa de diatomeas y concentración de sus valvas en sedimentos del lago San Lorenzo, Chiapas, México.

La abundancia total de diatomeas fluctuó en un rango de 0-62 v/gss (Figura 8). Las especies *Aulacoseira granulata*, *A. granulata* var. *angustissima*, *Discostella pseudostelligera*, y *Stephanodiscus hantzschii* fo. *tenuis* fueron las más abundantes del registro. Todas estas especies, son características de ambientes eutróficos y toleran las aguas turbias (Bennion *et al.* 1995; Jeong *et al.* 2006; Kolmakov *et al.* 2002). Por otro lado, hubo mayor diversidad de diatomeas a la mitad del núcleo (25-20 cm, años 1975 a 1985). En la sección media del núcleo se identifica también una menor concentración de diatomeas (25-15 cm, años 1975 a 1990), estos momentos de baja concentración de valvas de diatomeas en el sedimento coinciden de forma general con los máximos de Ti, durante los cuales hubo una mayor entrada de sedimentos al lago.

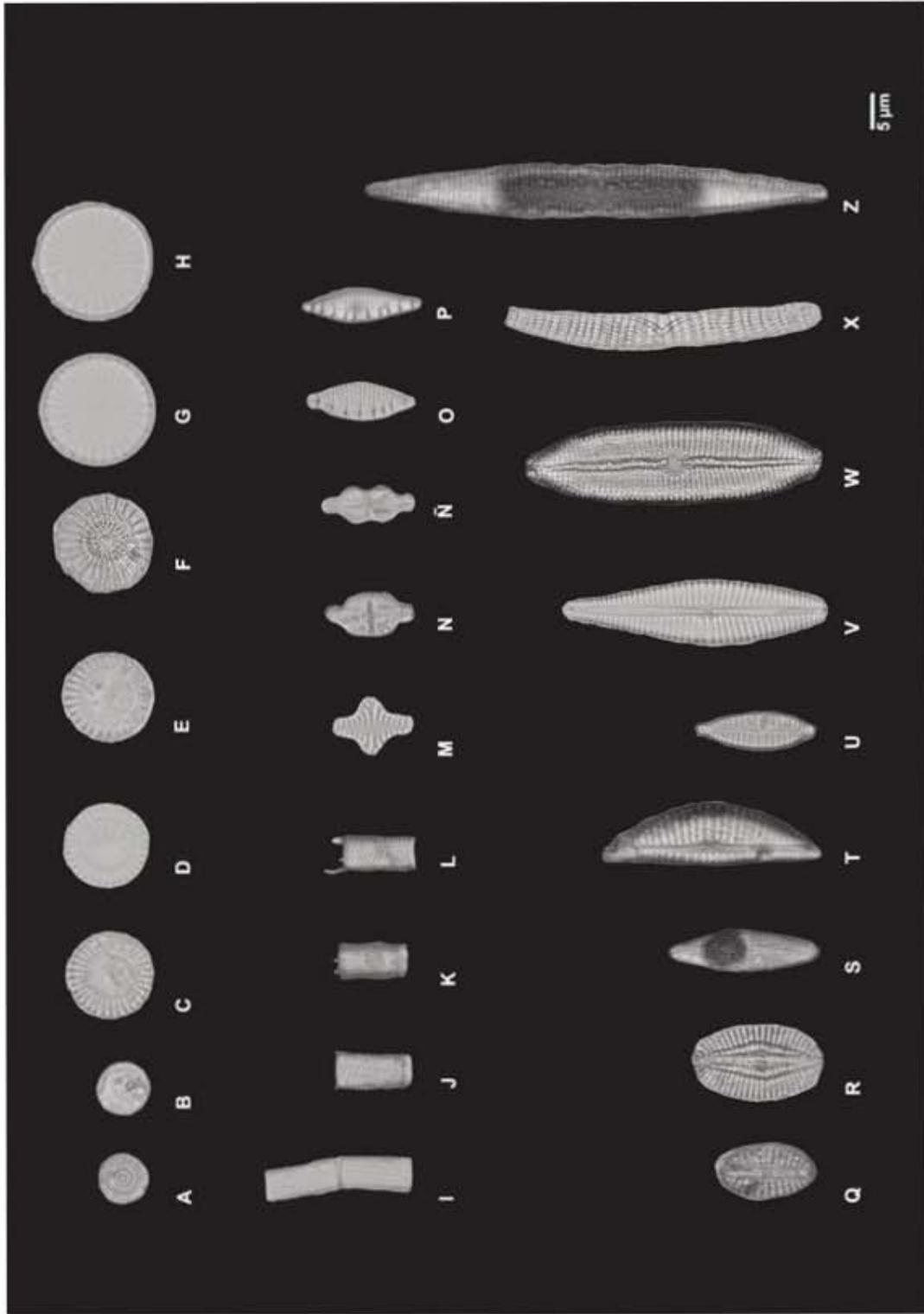


Figura 9. Fotografías de diatomeas en microscopio óptico. (A) - (B) *Discostella pseudostelligera*, (C) - (E) *Cyclotella meneghiniana*, (G) - (H) *Stephanodiscus hantzschii* fo. *tenuis* (I) - (L) *Aulacoseira granulata*, (M) *Stiaurosira construens*, (N) - (N) *Achnantheidium exiguum*, (O) - (P) *Nitzschia* spp., (Q) - (R) *Diploneis* spp., (S) *Luticola mutica*, (T) *Encyonema* spp., (U) - (V) *Gomphonema* spp., (W) *Mastoglia smithii*, (X) *Epithemia* spp., (Z) *Ulnaria ulna*.

## Amebas testadas

En este estudio se identificaron un total de 9 taxones, repartidos en 5 géneros, de los cuales uno se identificó hasta género, cinco hasta nivel de especie y tres a nivel de variedad. A continuación, se presenta el acomodo taxonómico de las especies, de acuerdo con la clasificación de Adl *et al.* (2012). Las viñetas indican la clasificación de los grupos taxonómicos que pertenecen a una de las especies y se elimina la clasificación tradicional. Cabe mencionar que, de acuerdo con el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica, las variedades no son una categoría taxonómica reconocida (International Commission on Zoological Nomenclature. 1999), sin embargo, la identificación hasta el nivel de variedades (reconocidos también como ecofenotipos) nos da más información para realizar las reconstrucciones ambientales (Nasser *et al.* 2016; Patterson *et al.* 2012).

### **Supergrupo AMOEBOZOA Lühe, 1913 emend. Cavalier Smith 1998**

- Tubulinea Smirnov *et al.* 2005
- Arcellinida Kent 1880
  - Arcellina Haeckel 1894
    - Arcella dentata* Ehrenberg 1830
    - Arcella discoides* Ehrenberg 1843
    - Arcella megastoma* Penard 1902
  - Diffflugina Meisterfeld 2002
    - Mediolus corona* Wallich 1864
    - Centropyxis aculeata* Ehrenberg 1832 var. “aculeata”
    - Centropyxis constricta* Ehrenberg 1843 var. “aerophila”
    - Centropyxis constricta* Ehrenberg 1843 var. “constricta”
    - Plagiopyxis* Penard 1910
    - Cucurbitella tricuspis* Carter 1856

A continuación, se presentan las descripciones morfológicas de las especies de amebas testadas identificadas con base en las especies observadas en las muestras, seguido una breve mención sobre algún dato de su ecología.

*Arcella dentata* Ehrenberg 1830.

#### **Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Testa dentada con 12 a 14 proyecciones cortas. Circular en vista lateral. Pseudostoma pequeño, circular y central (Fig. 10, C).

**Ecología.** Asociada a una variedad de hábitats de agua dulce (Sigala *et al.* 2016). Se ha reportado que su presencia y proliferación se encuentra relacionada positivamente con la turbidez, temperatura y clorofila *a*, así como negativamente con el oxígeno disuelto (Picapedra *et al.* 2019).

*Arcella discoides* Ehrenberg 1843

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Testa autogénica, incolora o marrón con puntos negros. Circular en vista ventral, algunas veces arqueada, con una superficie lisa. Pseudostoma circular, invaginado. Plano convexo en vista lateral.

**Ecología.** En turberas, ha sido reportada como una especie abundante en sitios que experimentan una alta variabilidad ambiental (Sullivan y Booth, 2011).

*Arcella megastoma* Penard 1902.

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Testa color marrón con puntos negros. Circular en vista ventral y aplanada en vista lateral. Pseudostoma amplio con un pequeño labio rodeado de pequeños poros (Fig. 10, A-B, D; Fig. 11. A-B).

**Ecología.** Se ha reportado como especie planctónica de lagos y ríos (Lansac-Tôha *et al.* 2000; Velho *et al.* 1996).

*Centropyxis aculeata* Ehrenberg 1832 var. “**aculeata**”.

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Testa color marrón. Circular con una depresión en vista ventral, con 5-7 espinas posterolaterales, algunas espinas están rotas desde la base o a la mitad. Pseudostoma subterminal, circular u ovoide. En vista lateral tiene forma de

boina, es estrecho en la parte del pseudostoma. La superficie de la testa está cubierta con granos minerales (Fig. 10, M-N).

**Ecología.** Se caracteriza por ser una especie oportunista, están presentes en ambientes tropicales, subtropicales y templados con pH muy bajo y alta salinidad (Charqueño *et al.* 2019), presente en ambientes eutróficos (Escobar *et al.* 2008; Roe y Patterson, 2014). Esta especie también se ha encontrado en sitios contaminados por metales y otros contaminantes (Patterson y Kumar 2000; Reinhardt *et al.* 1998)

*Centropyxis constricta* Ehrenberg 1843 var. “aerophila”.

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Testa color marrón. Ovoide en vista ventral. Pseudostoma sub-terminal ovoide, invaginado y con un ligero borde semicircular con poros. En vista lateral es esférica y aplanada hacia el pseudostoma. La superficie de la testa tiene granos minerales (Fig. 10, L; Fig. 11, D).

**Ecología.** Es indicadora de condiciones oligotróficas (Ju *et al.* 2014).

*Centropyxis constricta* Ehrenberg 1843 var. “constricta”.

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Testa color marrón y amarillo. Ovoide en vista ventral con 2 o 3 espinas. Pseudostoma sub-terminal, ovoide con un borde semicircular. La superficie de la testa con granos minerales.

**Ecología.** Su presencia se asocia al aumento de densidad de macrófitas (Prentice *et al.* 2018).

*Cucurbitella tricuspis* Carter 1856.

**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Testa color marrón. Esférica con estructura “rugosa”. Pseudostoma circular y crenulado con un labio liso-delgado 10-13 lóbulos. La superficie de la testa tiene granos minerales (Fig. 10, E-H; Fig. 11, G-H, K).

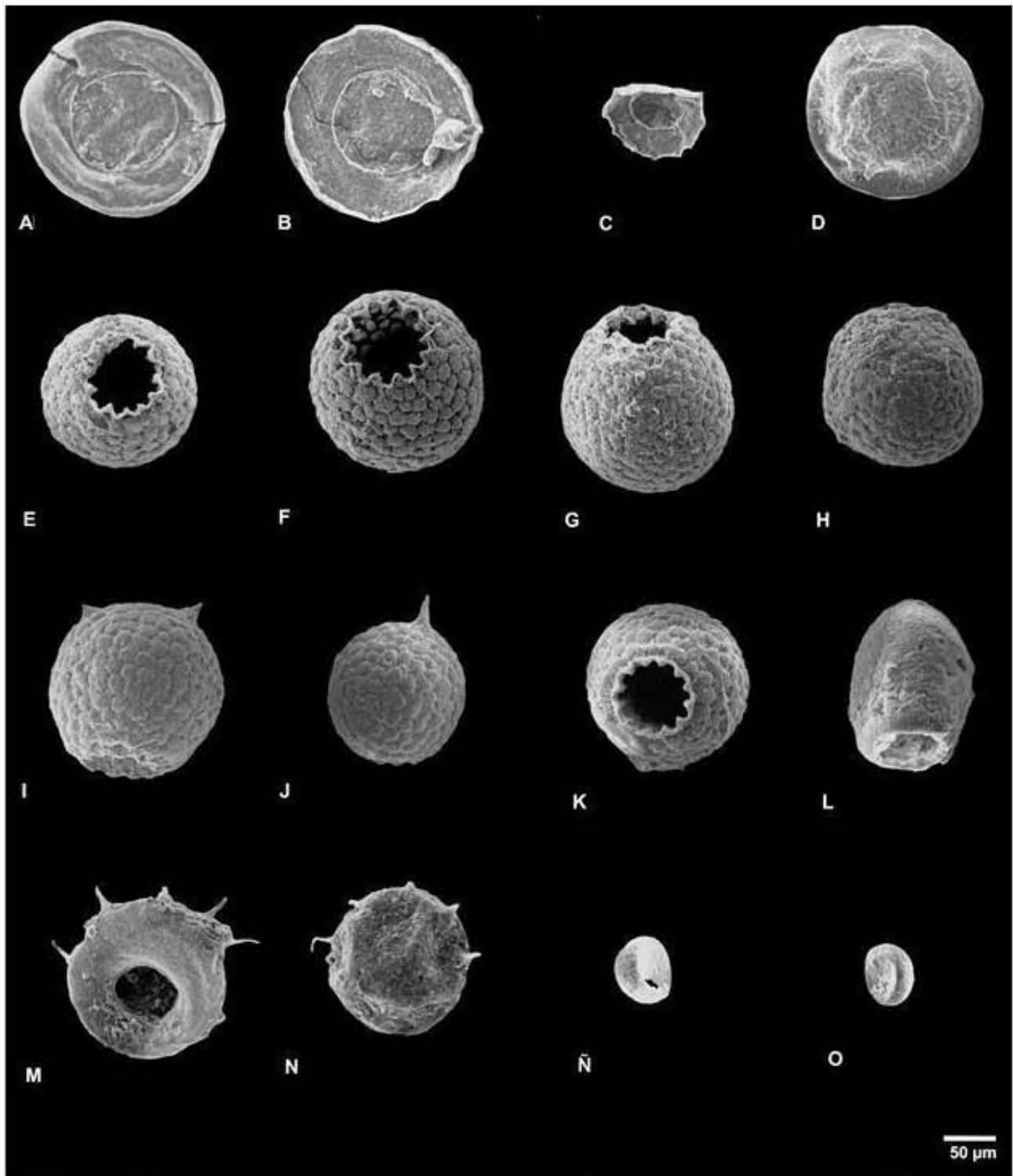
**Ecología.** Especie planctónica. Su presencia está asociada con condiciones eutróficas cálidas y poco profundas (Patterson *et al.* 1996; Patterson y Kumar 2002; Sigala *et al.* 2018).

*Mediolus corona* Wallich 1864.

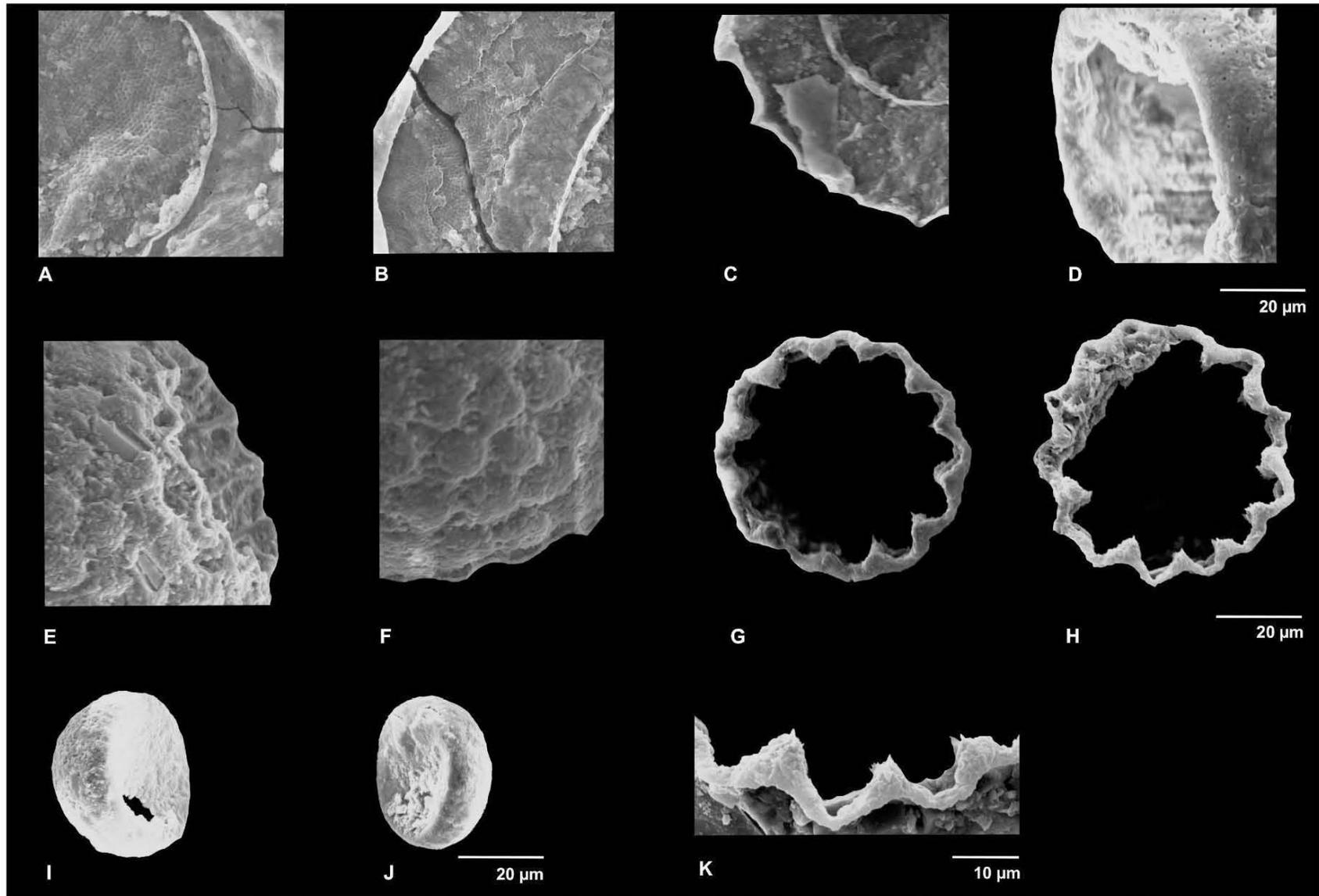
**Descripción morfológica.**

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Testa color marrón. En vista lateral esférica con 2 espinas. Pseudostoma terminal, circular con 10-12 lóbulos. La superficie de la testa está formada por pequeños granos minerales (Fig. 10, I-K; Fig.11, E-F).

**Ecología.** Relacionada con condiciones eutróficas (Prentice, 2018; Volik *et al.* 2016); y ambientes altamente productivos (Fatoreto *et al.* 2017).



**Figura 10.** Microfotografías de amebas testadas. (A) - (B) *Arcella megastoma*, vista ventral, (C) *A. dentata*, vista ventral (D) *A. megastoma*, vista dorsal, (E) - (G) *Cucurbitella tricuspis*, vista ventral, (H) *C. tricuspis*, vista dorsal, (I) - (J) *Mediolus corona*, vista lateral, (K) *M. corona*, vista ventral, (L) *Centropyxis constricta* var. "aerophila", vista lateral-ventral, (M) *C. aculeata* var. "aculeata", vista ventral, (N) *C. aculeata* var. "aculeata", vista dorsal, (Ñ) - (O) *Plagiopyxis*, vista latera-ventral.



**Figura 11.** Microfotografías de amebas testadas. (A) - (B) *Arcella megastoma*, vista ventral: acercamiento del pseudostoma y testa (C) *A. dentata*, vista ventral: acercamiento del pseudostoma y testa (D) *Centropyxis constricta* var. "aerophila", vista lateral-ventral: acercamiento del pseudostoma (E) *Mediolus corona*, vista ventral: acercamiento del pseudostoma (F) *M. corona*, vista lateral: acercamiento del pseudostoma y testa (G) - (H) *C. tricuspis*, vista ventral: pseudostoma (I) - (J) *Plagiopyxis*, vista latero-ventral, (K) *C. tricuspis*, vista ventral: acercamiento del pseudostoma

Los conteos de las amebas fueron bajos (<50 testas por muestra), con los valores más bajos (<5 ejemplares) en las muestras más superficiales (< cm 17), salvo por la muestra 15 cm que presentó los valores más elevados (32 testas) del registro (Tabla 2). El resto de las muestras tuvieron valores intermedios. De las trece muestras revisadas sólo en una (5 cm) no se encontraron testas. *C. tricuspis* fue la especie que se registró con más frecuencia en las muestras, seguida de *A. megastoma*. En contraste las testas de *A. dentata*, *C. constricta* var. "*aerophila*", *Mediolus corona* y *Plagiopyxis* sp. fueron las menos frecuentes en las muestras. De las muestras de 20 a 40 cm el conteo se mantuvo en un rango entre 10-21 testas. A los 15 cm la especie dominante fue *C. tricuspis*.

Tabla 2. Abundancia de las especies en cada profundidad. Se muestra también el índice de Shannon.

Especie/ Profundidad (cm)	1	5	10	13	15	17	20	23	25	27	30	35	40
<i>Arcella dentata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1
<i>Arcella discoides</i>	3	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0	1	0
<i>Arcella megastoma</i>	0	0	0	0	7	1	10	9	4	4	3	8	8
<i>Centropyxis aculeata</i> var. " <i>aculeata</i> "	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	1	0	2
<i>Centropyxis constricta</i> var. " <i>aerophila</i> "	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Centropyxis constricta</i> var. " <i>constricta</i> "	0	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	0	2

<i>Cucurbitella tricuspis</i>	0	0	1	1	17	0	4	7	5	1	1	0	7
<i>Mediolus corona</i>	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	1	0	0
<i>Plagiopyxis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0
Total de individuos	3	0	1	1	32	4	19	16	12	13	10	10	21
Índice de Diversidad de Shannon	NC	NC	NC	NC	1.3	NC	1.2	0.7	0.8	1.3	1.7	0.6	1.5

NC- Por ser muy baja la abundancia total no se puede calcular.

Los valores Shannon oscilaron entre 0.7 y 1.7. De acuerdo con Patterson *et al.* (2012) un ambiente acuático saludable tiene valores altos de este índice (>2.5) mientras que un ambiente estresado presenta valores bajos (<1.5) (Tabla 3). Bajo este concepto el lago San Lorenzo presentó para todas las profundidades (excepto el cm 30) valores que reflejan ambientes estresados.

Tabla 3. Clasificación del ambiente acuático con base en el valor del índice de Shannon (Patterson *et al.* 2012)

Índice de Diversidad de Shannon	Tipo de ambiente
<b>0.1-1.5</b>	Estresante
<b>1.5 – 2.5</b>	Transición
<b>2.5 – 3.5</b>	Saludable

## Ostrácodos

En este estudio se identificaron un total de 5 taxa, pertenecientes a 5 géneros, únicamente se le pudo asignar a dos taxa el nivel específico. A continuación, se presenta el acomodo taxonómico de las especies de acuerdo con la clasificación de Pérez *et al.* (2010a) y Cohuo (2012).

**Subphylum** Crustacea Brünnich 1772

**Clase** Ostracoda Latreille 1806

**Orden** Podocopida Sars 1866

**Suborden** Podocopina Sars 1866

**Infraorden** Cypridocopina Jones 1901

**Superfamilia** Cypridoidea Baird 1845

**Familia** Candonidae Kaufmann 1900

**Subfamilia** Candoninae Kaufmann 1900

**Género** *Pseudocandona* Kaufman 1900

*Pseudocandona* sp.

**Familia** Cyprididae Baird 1845

**Subfamilia** Cypridopsinae Kaufmann 1900

**Género** *Cypridopsis* Brady 1868

*Cypridopsis vidua* Müller 1776

**Subfamilia** Cyprinotinae Bronshtein 1947

**Género** *Heterocypris* Claus 1893

*Heterocypris* sp.

**Infraorden** Darwinulocopina Sohn 1988

**Superfamilia** Darwinuloidea Brady and Norman 1889

**Familia** Darwinulidae Brady and Norman 1889

**Género** *Darwinula* Brady and Robertson 1885

*Darwinula* sp.

**Género** *Alicenula* Rossetti y Martens 1998

*Alicenula* sp.

A continuación, se presentan las descripciones morfológicas de la especie *Cypridopsis vidua*, seguido una breve mención sobre algún dato de su ecología.

***Cypridopsis vidua*** O. F. Müller 1776.

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Valvas punteadas, en forma de corazón y margen dorsal arqueado. No se encontraron caparazones.

**Ecología:** esta especie es considerada cosmopolita, nectobéntica, euriterma (Echeverría 2017; Karanovich 2012; Meisch 2000; Palacios-Fest 2010; Pérez *et al.* 2010b). Los estudios han demostrado que *C. vidua* es sensible a los herbicidas y puede sobrevivir congelada durante varias horas (Smith y Delorme 2010). El sedimento en el que generalmente se encuentra va de fino a arenoso (Karanovich 2012; Lorenschat 2009). También habita en aguas dominadas por Ca, Na y HCO<sub>3</sub>, con pH de 8.8 a 9.5, concentración de OD de 4.6 a 7.9 mg/L (Pérez *et al.* 2015a). Su presencia y abundancia se asocia con ambientes estresados, aguas profundas (~40 m de profundidad) y salinidades superiores a 4 % (Macario-González *et al.* 2018; Pérez *et al.* 2010b). Está relacionada principalmente con vegetación acuática (Charqueño 2017; Roca *et al.* 1993).

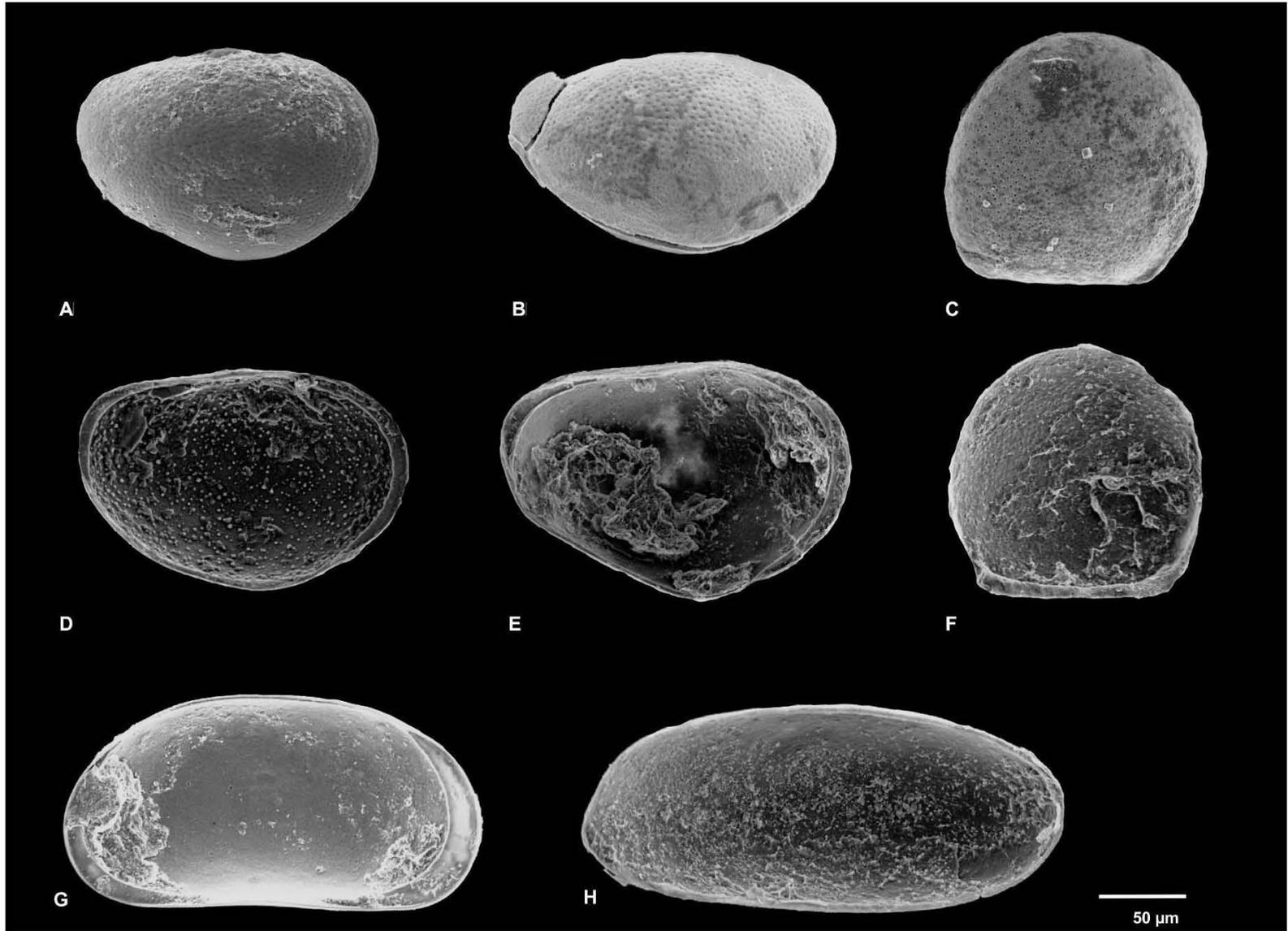
Tabla 4. Los resultados se muestran en valvas totales.

Especie/ muestra	1	5	10	13	15	17	20	23	25	27	30	35	40
<i>Alicenula</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0
<i>Cypridopsis vidua</i>	0	0	0	2	10	2	9	13	5	14	2	0	1
<i>Darwinula stevensoni</i>	0	0	0	0	2	0	1	1	0	1	1	0	0
<i>Heterocypris</i> sp.	0	1	0	0	7	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Pseudocandona</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Total del conteo por muestra	0	1	0	2	19	2	10	15	5	20	3	2	1

Las valvas de los ostrácodos fueron muy frágiles, lo cual no favoreció los conteos ni la identificación taxonómica.

Los conteos fueron bajos (<50 valvas) en todas las muestras, y solo en 4 se pudieron realizar conteos de por lo menos 10 valvas (15, 20, 23, 27 cm, Tabla 4). La especie con mayor frecuencia

y abundancia en el registro fue *Cypridopsis vidua*, principalmente en los centímetros 15 y 27 los cuales registraron tener el mayor conteo de organismos. Esta especie nectobentónica, se considera indicadora de ambientes estresados, pero es sensible a los herbicidas.



**Figura 12.** Microfotografía de ostrácodos. (A) *Cypridopsis vidua*, vista dorsal, (B) *C. vidua*, caparazón, (C) - (D) *C. vidua*, vista ventral (E) -(F) morfo 1, vista ventral, (E) y vista dorsal (F), (G) *Pseudocandona* spp. (H) *Alicenula* spp.

## **Cladóceros**

Se encontraron 2 taxones, los cuales, se identificaron a nivel especie. A continuación, se presenta el acomodo taxonómico de las especies, de acuerdo con las clasificaciones de Ahyong *et al.* (2011), Kotov *et al.* (2013) y Elías-Gutiérrez *et al.* (2008).

### **Phylum** Arthropoda

**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** Bosminidae Baird 1845

**Género** *Bosmina* (*Eubosmina*) Seligo 1900

*Eubosmina longispina* Leydig 1860

**Género** *Bosmina* (*Eubosmina*) Baird 1845

*E. longirostris* O. F. Müller 1785

A continuación, se presentan las descripciones morfológicas de las especies de cladóceros identificados con base a la literatura especializada, seguido una breve mención sobre algún dato de su ecología.

*Eubosmina longispina* Leydig 1860.

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Poseen poro lateral, circular y pequeño que carece de quitina. La superficie del escudo cefálico presenta reticulaciones irregulares, el largo de la anténula varía, pero en la mayoría es largo. Poseen un mucro largo y más o menos recto.

**Ecología:** cosmopolita, especie muy sensible para evaluar la toxicidad en el sedimento de ambientes tropicales (Martínez-Jerónimo *et al.* 2008)

*Bosmina longirostris* O. F. Müller 1785.

En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Posee un poro pequeño, circular en el margen anterior sin quitina. La anténula es larga y segmentada. La superficie tiene una reticulación poco clara. Caparazón corto y estrecho. Mucro curvado.

**Ecología:** es una especie más tolerante con respecto a grandes tensiones en las condiciones naturales, con respecto a otros cladóceros (Adamczuk 2016). Las preferencias de *B. longirostris* por afecciones eutróficas; también tolera la salinidad (Aladin 1991; Deasley *et al.* 2012; Jeppesen *et al.* 1994).

Tabla 5. Los resultados del conteo se muestran en anténulas

Especie/ muestra	1	5	10	13	15	17	20	23	25	27	30	35	40
<i>Eubosmina longispina</i>	7	53	3	1	9	7	39	18	3	8	33	64	6
<i>E. longirostris</i>	3	95	0	0	41	5	9	0	7	2	10	23	1
Total del conteo por muestra	10	148	3	1	50	12	48	18	10	10	43	87	7

Todas las muestras tuvieron restos de cladóceros preservados, pero solo en 5 se pudieron contar más de 50 individuos (Tabla 5). Los valores máximos (>100 individuos) se registraron en las muestras 5 y 35 cm y el conteo más bajo fue en la muestra 13 cm.

En la muestra 35 cm *E. longispina* es la especie dominante pero, en general, en el registro sedimentario hubo más individuos de *E. longispina* que de *E. longirostris*. En la muestra 5 cm *E. longirostris* fue la especie dominante (Tabla 5), sin embargo, en esa misma muestra se contabilizó una baja abundancia de los demás bioindicadores (amebas, ostrácodos y quironómidos) (Tabla 3, 4 y 6).

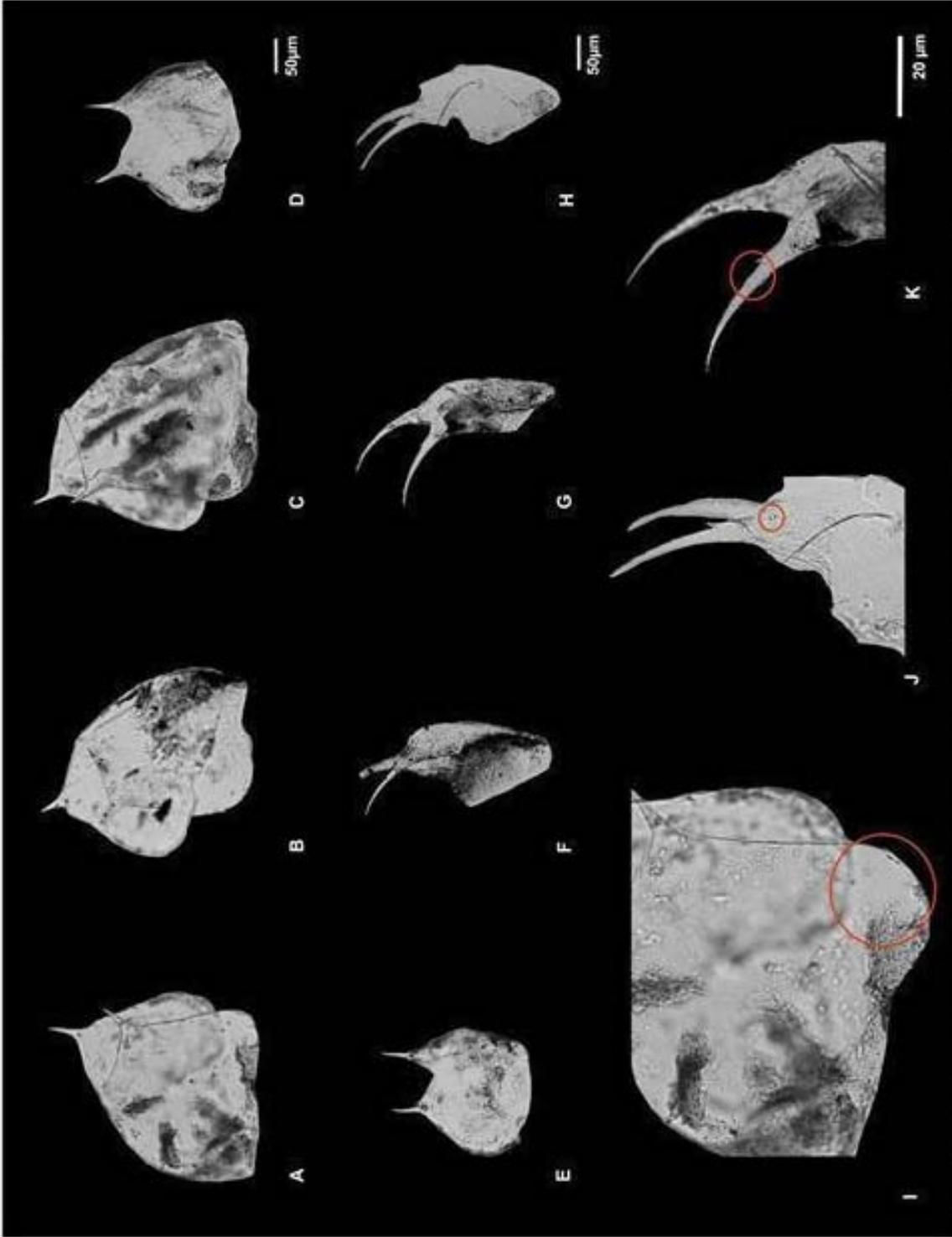


Figura 13. Fotografías de cladóceros en microscopio óptico. (A)-(E) Caparazón de *Eubosmina longispina*, el mucro es recto. (F)-(H) Escudo cefálico de *Bosmina longirostris*, anténula segmentada. (I) Acercamiento de (A). E. *longispina*, superficie reticulada. (J) Acercamiento de (H) *B. longirostris*, poro lateral. (K) Acercamiento de (G) *B. longirostris*, anténula larga y segmentada.

## Quironómidos

Se encontraron 5 taxones, los cuales se identificaron a nivel de género. A continuación, se presenta la clasificación taxonómica de los géneros identificados, de acuerdo con Epler (2001).

### Subphylum Hexapoda

#### Clase Insecta

#### Orden Diptera

#### Subfamilia Chironominae Macquart 1838

#### Tribu Chironomini Macquart 1838

#### Género *Goeldochironomus* Fittkau 1965

*Goeldochironomus* sp.

#### Género *Dicrotendipes* Kieffer 1913

*Dicrotendipes* sp.

#### Género *Endochironomus* Kieffer 1918

*Endochironomus* sp.

#### Subfamilia Tanypodinae Kieffer 1906

#### Tribu Tanytarsini van der Wulp 1874

#### Género *Ablabesmyia* Johannsen 1905

*Ablabesmyia* sp.

A continuación, se presenta la descripción morfológica de *Goeldochironomus*, identificada con base a la literatura especializada, seguido una breve mención sobre algún dato de su ecología.

### *Goeldochironomus* Fittkau 1965

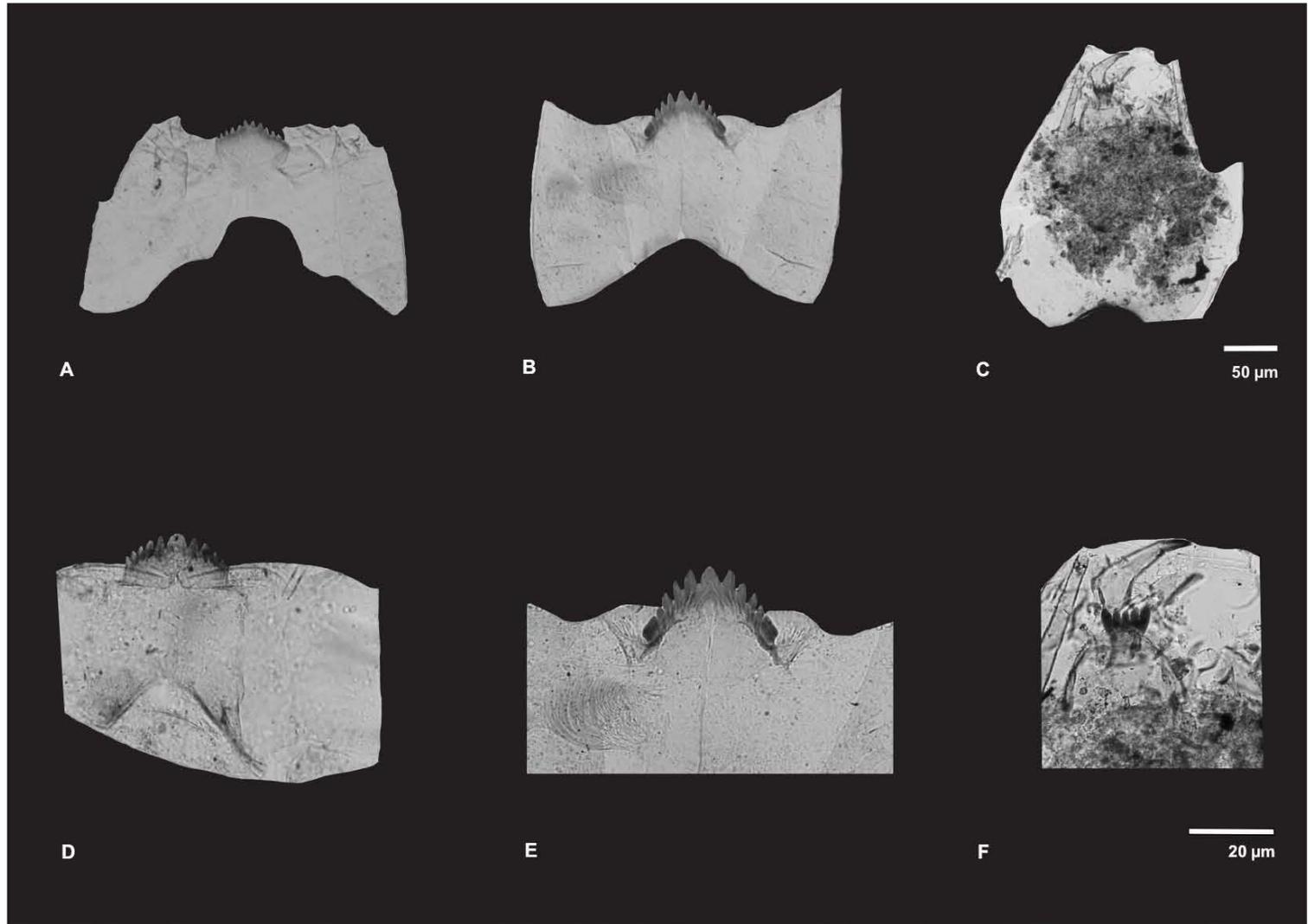
En el registro sedimentario de San Lorenzo (Liq13-G-II). Mandíbulas simples. Placas ventromentales en forma de abanico, estrías rectas y pronunciadas. Mentum con 10-13 dientes; en la parte central del mentum tiene tres dientes grandes, el de en medio tiene una posición recta céntrica y los dientes laterales forman una “v”. Triángulo occipital largo.

**Ecología.** Género principalmente neotropical (Téllez 2011). Las larvas de *Goeldochironomus* pueden habitar en la vegetación flotante y a la deriva de pequeños cuerpos de agua estancados, ya que estos microambientes favorecen su proliferación.

Tabla 6. Los resultados se muestran en cápsulas cefálicas totales (número de individuos).

Especie/muestra	1	5	10	13	15	17	20	23	25	27	30	35	40
Tribu Tanytarsini.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
<i>Goeldochironomus</i> sp.	0	0	1	0	2	5	0	1	3	0	2	3	0
<i>Dicrotendipes</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Endochironomus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Ablabesmiya</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Total de conteo por muestra	0	0	1	0	3	6	0	1	7	1	2	4	0

Los quironómidos tuvieron los menores conteos (<10), 5 muestras se tuvo presencia de los ejemplares y los conteos más elevados (7 y 6 ejemplares) fueron en las muestras 17 y 25 cm (Tabla 6). Se registraron dos subfamilias Chironominae y Tanypodinae. *Goeldochironomus* sp. estuvo presente en la mayoría de las muestras.



**Figura 14.** Fotografías de quironómidos en microscopio óptico. (A) *Goeldochironomus* sp., (B) *Dicotendripes* sp., (C) *Ablabesmyia* sp. (D) Tribu Tanytarsini, acercamiento de placas ventromentales, (E) *Dicotendripes* sp., acercamiento de placas ventromentales, (F) *Ablabesmyia* sp., acercamiento de la lígula.

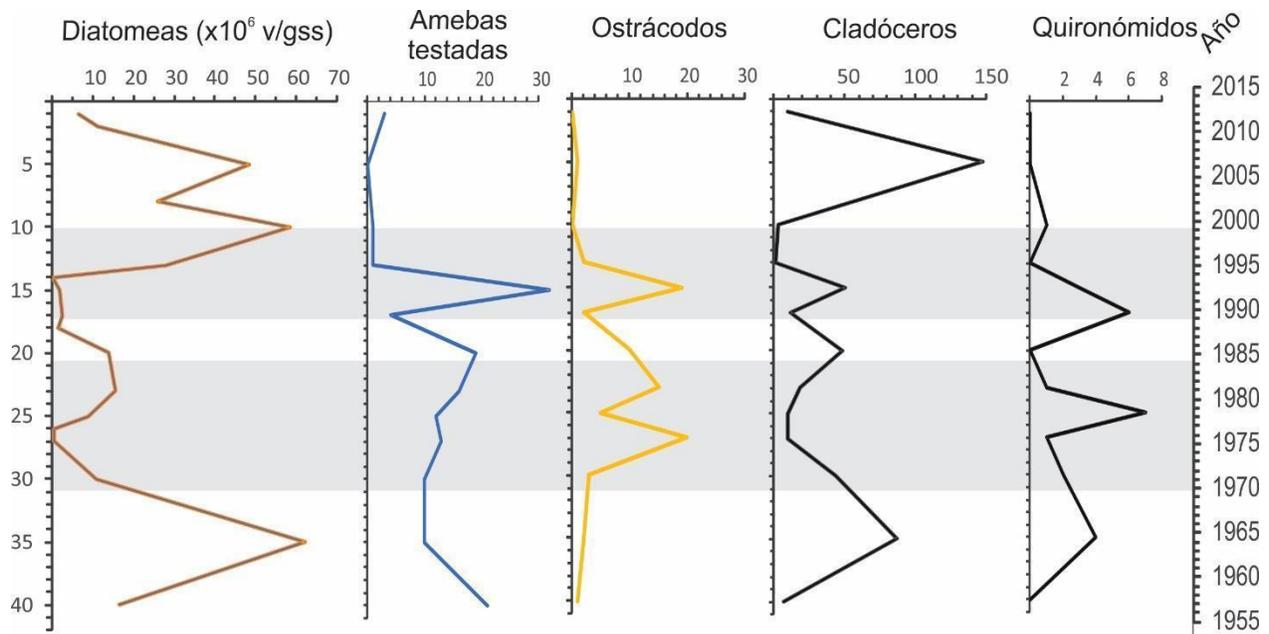


Fig. 15 Resumen concentraciones de bioindicadores en sedimentos del lago San Lorenzo, Chiapas, México. Diatomeas en concentración  $\times 10^6$  v/gss) Amebas, ostrácodos, cladóceros y quironómidos presentados en individuos por  $\text{cm}^3$ . Bandas grises denotan intervalos con valores elevados de Ti.

## Discusión

En general, la identificación de los bioindicadores estudiados en los sedimentos del lago San Lorenzo fue difícil, ya que el número de las estructuras preservadas fue bajo. Caso similar se reportó en el estudio de Balamtetik por Caballero *et al.* (2019) en el que la identificación de diatomeas no fue fácil por el bajo número de valvas. Además, las estructuras de algunos ejemplares eran bastante pequeñas o estaban rotas. Esto fue una limitante para la identificación taxonómica, por lo que en este trabajo muchos organismos sólo pudieron identificarse a nivel de género.

Entre los grupos de bioindicadores estudiados, las diatomeas fueron los organismos que mostraron la mayor abundancia y riqueza, sin embargo, debido a la pobre preservación, los conteos mínimos realizados fueron de solo 100 valvas.

Las diatomeas *Stephanodiscus hantzschii* fo. *tenuis*, *Cyclotella meneghiniana* y *Aulacoseria granulata* var. *angustissima*, *Staurosira consturens* y *Discostella stelligera* fueron identificadas por Caballero *et al.* (2019) en el lago Balamtetik, vecino del lago San Lorenzo; estas especies también fueron identificadas en este trabajo. Es interesante mencionar que éstas son especies características de un lago eutrófico en particular *A. granulata*, *D. pseudostelligera*, *C. meneghiniana* y *Stephanodiscus hantzschii* fo. *tenuis*, lo cual muestra un elevado nivel de nutrientes en el lago a lo largo de todo el registro, esto es desde 1955.

Los valores elevados de Ti registrados en la secuencia pueden estar asociados con altos niveles de erosión y aporte de sedimentos a los lagos, favoreciendo un ambiente todavía más turbio. Estos intervalos de erosión correlacionan con los valores más altos de amebas testadas y ostrácodos en los sedimentos y los valores más bajos de cladóceros (organismos filtradores que prefieren aguas menos turbias). En el lago vecino de San Lorenzo, Balamtetik, también se registraron eventos sucesivos de impacto humano a lo largo de los últimos 60 años aproximadamente, que pueden correlacionarse con los identificados en San Lorenzo. El primer evento de erosión-eutrofización detectado en San Lorenzo, data en la base del núcleo (40-35 cm) y abarca aproximadamente los años 1957-1965. Caballero *et al.* 2019 relacionaron este primer intervalo de impacto humano en Balamtetik con la reforma agraria que ocurrió en Chiapas, desde 1940 hasta finales de 1950, durante la cual hubo una transformación en el uso de tierra, particularmente en el PNLM (García y Bórquez 2006; Zárate 2015). Esto corresponde bien con la idea de que San Lorenzo ya era un lago bastante eutrófico y turbio desde 1955.

En San Lorenzo, las etapas de mayor erosión identificadas por el mayor aporte de Ti datan entre aproximadamente 1970 a 1980 y de 1990 a 2000. Esto indicaría que ha habido una intensa entrada de sedimentos en el lago San Lorenzo contribuyendo a una constante eutrofización derivada del vertimiento de las aguas residuales del Río Comitán, asociadas con cambio de uso de suelo debido a la agricultura y los incendios forestales en la parte noreste del PNLM (CONANP 2007; Alcocer *et al.* 2017; Caballero *et al.* 2019). Esta conexión que tiene principalmente con el Río Comitán, lo vuelve susceptible y que se refleja en el desarrollo de sus comunidades biológicas (Cohen, 2003;

Wetzel, 2001) colocando a San Lorenzo como un lago fuertemente impactado, lo cual favorece a que haya especies cuya ecología esté asociada a eutrofización. Esta última etapa coincide con el tercer evento de impacto humano detectado en el registro de Balamtetik desde finales de 1990 y hasta el año 2010. Durante estas etapas aumenta la presión para la zona por el impacto de cambio de uso de tierra (IMPLAN Comitán 2015). La calidad de agua es afectada principalmente por el cambio de uso de tierra consecuente de la deforestación, agricultura y posible entrada de aguas negras (Mora *et al.* 2017).

En los años 1993 a 1995 más del 50 % de la vegetación del PNLN estaba perturbada o fragmentada (Inventario Nacional Forestal 1994; CONANP 2007). Es probable que este evento de impacto humano detectado entre 1990 y 2000 estuviera relacionado con el evento de El Niño, en 1997-1998, con desastres naturales muy intensos, que involucraron sequías e incendios (Magaña, 2001). En 1998 se registró el mayor número de incendios; fue el más grave que se haya registrado para Chiapas, ya que dañó aproximadamente un 50 % de la superficie del PNLN (CONANP 2007). Después de este evento se observa un cambio abrupto, ya que disminuyen las concentraciones de amebas testadas y ostrácodos en el lago y se inicia una recuperación en la concentración de las diatomeas, que para el año 2000 se registraron abundancias más altas. Los niveles de Ti inician también una tendencia a disminuir y todo esto sugiere que después de 1998 el aporte de sedimentos al lago y el impacto humano disminuyó gradualmente. Sin embargo, en los primeros años del 2000 hubo un acelerado crecimiento demográfico que incrementó la presión sobre los lagos, incrementando su uso por las comunidades cercanas al PNLN para consumo humano, riego y actividades domésticas (CONANP 2007).

En concordancia con la ecología de las especies de diatomeas registradas, y siguiendo la clasificación de salud de un ecosistema acuático de Patterson y Kumar (2002) para las amebas testadas, todo indica que el lago San Lorenzo ha sido un ambiente estresado desde 1955. Las especies registradas son en su mayoría especies que han sido referidas en la bibliografía como oportunistas en condiciones en las que hay eutrofización. A pesar de que la abundancia es baja, es interesante notar que a los 15 cm, la especie con mayor abundancia es *Cucurbitella tricuspis* la cual es un buen indicador de eutrofización, y está en concordancia con lo que se sabe que ocurrió en estos años. La baja abundancia de amebas testadas en el Lago San Lorenzo coincide con otros

registros de lagos tropicales, donde se ha encontrado que los especímenes de amebas pueden ser significativamente menores que en las zonas templadas (Patterson *et al.* 2015).

En cuanto a los ostrácodos, es posible que la turbidez asociada con la entrada de sedimentos a este lago haya limitado el desarrollo de este grupo de organismos que son principalmente de hábitos bénticos (Pérez *et al.* 2011). Algo similar pudo ocurrir con los quironómidos, por el contrario, los cladóceros que, al ser organismos de hábitos planctónicos, fueron más abundantes.

## CONCLUSIONES

Se identificaron diatomeas, amebas testadas, ostrácodos, quironómidos y cladóceros en la secuencia sedimentaria del lago San Lorenzo, las diatomeas fueron los microfósiles mejor preservados y más abundantes en el sedimento, seguidos de los cladóceros, amebas testadas, ostrácodos y quironómidos. El bajo número de ejemplares identificados de quironómidos (< 10) determina que este grupo de organismos no sean de utilidad para la reconstrucción paleoambiental en este registro. Los ostrácodos y amebas testadas tuvieron números bajos, por lo que para realizar un estudio más completo sería necesario analizar por lo menos 3 cm<sup>3</sup> de sedimento para llegar a conteos mínimos de aproximadamente 100 organismos. Los cladóceros fueron abundantes en algunas muestras, pero gran parte del núcleo tuvo valores bajos.

En todos los grupos de bioindicadores estudiados se encontraron especies cosmopolitas, asociadas a aguas ricas en nutrientes y tolerantes a ambientes estresantes lo que revela que San Lorenzo ha tenido una historia de muchos cambios en la calidad de agua que han sido consecuencia de actividades antrópicas particularmente en la zona noreste del PNLN, al menos en los últimos 50 años, y que debería solucionarse, pues dependemos de distintas maneras de que sean cuerpos de agua saludables. El registro de Ti del lago San Lorenzo permite identificar específicamente dos momentos de máxima erosión entre aproximadamente 1970 a 1980 y 1990 a 2000.

Anteriormente no se habían hecho estudios con bioindicadores para esta zona de estudio, por lo que la información obtenida en este trabajo es nueva y representa una contribución valiosa para entender la biodiversidad de la zona y en particular para el lago San Lorenzo, que representa un

nuevo registro para el PNLM. Añadiendo que este estudio proporcionó fotografías y micrografías de los bioindicadores identificados que incluyen nuevos registros de especies de estos, que podrán ayudar a futuros estudios paleolimnológicos en el PNLM.

## Literatura consultada

- Adamczuk, M. (2016). Past, present, and future roles of small cladoceran *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1785) in aquatic ecosystems. *Hydrobiologia*. 767: 1-11.
- 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. (2011). Subphylum Crustacea Brünnich, 1772. En *Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*, Zhang Z. Q. *Zootaxa*. 165-191.
- Aladin, N. V. (1991). Salinity tolerance and morphology of the osmoregulation organs in Cladocera with special reference to Cladocera from the Aral Sea. *Hydrobiologia* 225: 291–299.
- Alcocer, J., Merino-Ibarra, M. y Escobar-Briones, E. (Editores). (2015). *Tendencias de investigación en Limnología tropical: Perspectivas universitarias en Latinoamérica*. Asociación Mexicana de Limnología, A.C., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México.
- Alcocer, J., Oseguera, L. A., Sánchez, G., González, C. G., Martínez, J. R. y González, R. (2016). Bathymetric and morphometric surveys of the Montebello Lakes, Chiapas. *J. Limnol.* 75: 56-65 pp.
- Alcocer, J., Merino-Ibarra, M., Oseguera, L. y Escolero, O. (2017). Anthropogenic impacts on tropical karst lakes: “Lagunas de Montebello,” Chiapas. *Ecohydrology*. 1-13 pp.
- Almeida, T. B. (2014). Heterogeneidad espacial en el sistema lacustre de Montebello: estructura funcional y taxonómica del fitoplancton. UNAM. Tesis Licenciatura.
- Bartram J. y Ballace R. (1996). *Water Quality Monitoring. A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Gran Bretaña.
- Bello, K. G. (2016). Determinación del plaguicida Paraquat en muestras tomadas de las Lagunas de Montebello, Chiapas. Tesis Licenciatura. UNAM.
- Bere, T. (2014). Ecological preferences of benthic diatoms in a tropical river system in São Carlos-SP, Brazil. *Tropical Ecology*. 1: 47-61.
- Bennion, H., Wunsam, S. & Schmidt, R. (1995). The validation of diatom-phosphorus

transfer functions: an example from Mondsee, Austria. *Freshwater Biology*, 34(2), 271-283.

- Bicudo, D.C., Tremarin, P.I., Almeida, P.D., Zorzal-Almeida, S., Wengrat, S., Faustino, S.B., Costa, L.F., Bartozek, E.C.R., Rocha, A.C.R., Bicudo, C.E.M., Morales, E.A. (2016). Ecology and distribution of Aulacoseira species (Bacillariophyta) in tropical reservoirs from Brazil. *Diatom Res.*
- Bradley, R. S. (2015). *Insects and Other Biological Evidence from Continental Regions*. Capítulo 11. En *Paleoclimatology*. University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts. Elsevier Inc. pp. 377-404.
- Brenner, M., Leyden, B. W., Curtis, J. H., Medina-Gonzalez, R. M., Dahlin, B. H. (2000). Un registro de 8000 años del paleoclima del noroeste de Yucatán, México, En: *Revista de la Universidad de Yucatán*. 213: 52-64.
- Brenner, M., Rosenmeier, M., Hodell, D., Curtis, J., Anselmetti, F. y Ariztegui, D. (2002). Limnología y Paleolimnología de Petén, Guatemala. *Revista Universidad del Valle de Guatemala*. 12:2-9.
- Buendía-Flores, M., Tavera, R., y Novelo, E. (2015). Florística y ecología de diatomeas bentónicas de la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, México. *Botanical Sciences*, 93(3), 531-558.
- Caballero, M., Rodríguez, A., Vilaclara, G., Ortega, B., Roy, Priyadarsi y Lozano, S. (2013). Hydrochemistry, ostracods and diatoms in a deep, tropical, crater lake in Western Mexico. *J. Limnol.* 72 (3): 512-523.
- Caballero, M. y Maidana. (2017). Crustacea: Ostracoda. En Pérez, L., Massaferro, J. y Correa-Metrio, A. *Paleobioindicadores lacustres neotropicales* (1-23). UNAM.
- Caballero, M., Mora, L., Muñoz, E., Escolero, O., Bonifaz, R., Ruíz, C. y Prado, B. (2019). Anthropogenic influence on the sediment chemistry and diatom assemblages of Balamtetik Lake, Chiapas, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Charqueño, N. C. (2017). Comparación de las comunidades de microcrustáceos bénticos (Crustacea: Ostracoda y Cladocera) de ecosistemas acuáticos epicontinentales del estado de Quintana Roo, México. Tesis Maestría. UNAM.
- Charqueño-Celis, N., Garibay, M., Sigala, I., Brenner, M., Echeverría Galindo, P.,

- Lozano-García, S., Massaferró, J. and Pérez, L., n.d. *Testate amoebae (Amoebozoa: Arcellinidae) as indicators of dissolved oxygen concentration and water depth in lakes of the Lacandón Forest, southern Mexico.*
- Cohen A.S. 2003. Paleolimnology: The history and evolution of lake systems. Oxford University Press. Oxford. 528 pp.
- Cohuo, S. (2012). Revisión taxonómica (morfológica y molecular) de los ostrácodos dulceacuícolas del centro-sureste de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal.
- Comisión Federal de Electricidad. CFE. (2012). Estudio para conocer la calidad del agua de las Lagunas de Montebello, Chiapas: Tomo II Geohidrología. México, 196 pp.
- Comisión Nacional del Agua. CONAGUA. (2009). Plan de Gestión de la Cuenca del Río Grande-Lagunas de Montebello. México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. CONANP. (2007). Programa de conservación y manejo Parque Nacional Lagunas de Montebello, México. CONANP-SEMARNAT. México.
- 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 Tepancuapan. CONANP. México.
- Deasley, K., J. B. Korosi, J. R. Thienpont, S. V. Kokelj, M. F. J. Pisaric y J. P. Smol. (2012). Investigating the response of Cladocera to a major saltwater intrusion event in an Arctic lake from the outer Mackenzie Delta (NT, Canada). *Journal of Paleolimnology* 48: 287–296.
- Dole-Olivier, M.J., D.M.P. Galassi, P. Marmonier & M. Creuzé des Chatelliers. (2000). The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater Biol.* 44: 63-91.
- Dunck, P., Noguera, I. y Machado, Ma. (2012). Planktonic diatoms in lotic and lentic environments in the Lago dos Tigres hydrologic system (Britânia, Goiás, Brazil): Coscinodiscophyceae and Fragilariophyceae. *Brazilian Journal of Botany* 35:181-193.
- Durán-Calderón I., Escolero O., Muñoz Salinas E., Castillo Rodríguez M., Silva Romo G. (2014). Carta geomorfológica a escala 1:50,000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México): *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.* 66: 263-277.
- Echeverría, P. (2017). Reconstrucción paleoambiental de dos lagos kársticos en el norte del

Neotrópico con base en múltiples paleobioindicadores acuáticos y análisis multielemental.  
Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

- Eliás-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.
- Escobar, J. Restrepo, J. C. y Martínez, J.I. (2005). La paleolimnología como herramienta para el estudio y manejo de embalses. *Gestión y Ambientes*. 8: 51-59 pp.
- Escobar, J., M. Brenner, T.J. Whitmore, W.F. Kenney y J.H. Curtis. (2008). Ecology of testate amoebae (thecamoebians) in subtropical Florida lakes. *Journal of Paleolimnology*. 40: 715-731.
- Fatoreto, L. S., Leite, R. A., Ressayé, N. S., Costa, C. B. y Lansac-Tôha, F. (2017). Productivity gradient affects the temporal dynamics of testate amoebae in a neotropical floodplain. *Ecological Indicators*. 78: 264–269.
- Foged, N. (1975). Some littoral diatoms from the coast of Tanzania. *Bibliotheca Phycologica*, 47: 225 pp.
- Frey, D. G. (1988). What is paleolimnology. *Journal of Paleolimnology*, 1, pp. 5-8.
- Fritz, S. C., Juggins, S., Battarbee, R. W., Engstrom, D. R. (1991). Reconstruction of past changes in salinity and climate using a diatom-based transfer function. *Nature*. 352 pp.
- Gaiser, E., Hée, J., Tobias, F. y Wachnicka, A. (2010). *Mastogloia smithii* var. *lacustris* Grun.: A structural engineer of calcareous mats in karstic subtropical wetlands. *Academy of Natural Sciences*. 160: 99-112.
- García MT, Bórquez LC (2006) Chiapas: los cambios en la tenencia de la tierra. Argumentos (Mex).
- Gasse, F. (1986). East African diatoms: Taxonomy, ecological distribution. *Bibl. Diatomol*. 11: 1– 201.

- Gibson, G.R. Barbour, M. T. Stribling, J. B. Gerritsen, J. & Karr, J. R. (1996).  
Biological criteria: Technocal Gidance for Streams and Small Rivers. Revised Edittion.  
USEPA Washingt, D.C.
- Gómez, N., Riera, J. L., Sabater, S. (1995). Ecology and morphological variability of  
*Aulacoseira granulata* (Bacillariophyceae) in Spanish reservoirs. *J Plank Res* 17:1–16.
- Häkansson (2002) A Compilation and evaluation of species in the general stephanodiscus  
*Stephanodiscus*, *Cyclostephanos* and *Cyclotella* with a new genus in the family  
*Stephanodiscaceae*, *Diatom Research*, 17:1, 1-139
- Hassan, G. y De Francesco, C. (2017). Preservation of *Cyclotella meneghiniana* Kützing  
(Bacillariophyceae) Along a Continental Salinity Gradient: Implications for Diatom-  
Based Paleoenvironmental Reconstructions. *Ameghiniana*. 55: 263–276.
- Hernández, E. (2015). Microorganismos en agua como indicadores del proceso de  
degradación de la cuenca del Río Grande de Comitán – Lagos de Montebello, Chiapas,  
México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México.85p.
- Holt E.A y Miller S. W., (2010). Bioindicators: Using Organisms to Measure Environment  
Impacts; *Nature Education Knowledge* 3(10):8.
- Houk, V., Klee, R. (2004). The stelligeroid taxa of the genus *Cyclotella* (Kützing) Brébisson  
(Bacillariophyceae) and their transfer to the new genus *Discostella* gen. nov. *Diatom Res*  
19: 203-228.
- Iler, R., 1979. The chemistry of silica. John Wiley and Sons. London
- Inventario Forestal Nacional, 2000-2001. Carta del uso de suelo y vegetación Serie II.
- Instituto Municipal de Planeación de Comitán de Domínguez (IMPLAN Comitán). (2015).  
Plan de Gestión de la cuenca del Río Grande, Lagunas de Montebello, Chiapas, México.
- International Commission on Zoological Nomenclature. (1999) International Code of  
Zoological Nomenclature. International Trust for Zoological Nomenclature
- Jeong K.S., Recknagel F., Joo G.J. (2006) Prediction and Elucidation of Population  
Dynamics of the Blue-green Algae *Microcystis aeruginosa* and the Diatom  
*Stephanodiscus hantzschii* in the Nakdong River-Reservoir System (South Korea) by a  
Recurrent Artificial Neural Network. In: *Ecological Informatics: Scope, Techniques and  
Applications* (ed. F. Recknagel), pp. 255-273. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin  
Heidelberg

- Jeppesen, E., M. Søndergaard, E. Kanstrup, B. Petersen, R. B. Eriksen, M. Hammershøj, E. Mortensen, J. P. Jensen & A. Have. (1994). Does the impact of nutrients on the biological structure and function of brackish and freshwater lakes differ? *Hydrobiologia*. 276: 15–30.
- Ju, L., Yang, J., Liu, L. y Wilkinson, D. (2014). Diversity and Distribution of Freshwater Testate Amoebae (Protozoa) Along Latitudinal and Trophic Gradients in China. *Microbial Ecology*. 68: 657-670.
- Karanovich, I. (2012). *Recent Freshwater Ostracods of the World: Crustacea, Ostracoda, Podocopida*. Springer Ed. Alemania.
- Kiss, K.T., Klee, R., Ector, L. and Ács, É. (2012). Centric diatoms of large rivers and tributaries in Hungary: morphology and biogeographic distribution *Acta Bot Croat*. 2: 311–363.
- Kling, H. J. (1992). Valve Development In *Stephanodiscus Hantzschii* Grunow (Bacillariophyceae) And Its Implications On Species Identification. *Diatom Research*. 2: 241-257
- Kolmakov, V. I., Gaevskii, N. A., Ivanova, E. A., Dubovskaya, O. P., Gribovskaya, I. V. & Kravchuk, E. S. (2002). Comparative Analysis of Ecophysiological Characteristics of *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in the Periods of Its Bloom in Recreational Water Bodies. *Russian Journal of Ecology*, 33(2), 97-103.
- Korhola A. y Rautio M. (2002). Cladocera and other branchiopod crustaceans. En *Tracking Enviromental 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.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot. H. (1988). *Bacillariophyceae. Teil 2: Bacillariaceae, Ephitemiaceae, Surirellaceae. Die SüBwasserflora von Mitteleuropa Band 2/2*. Ettl, H., Gerloff, J., Heyning, H. & Mollenhauer, D. (eds.). Gustav Fischer Verlag. Germany, Stuttgart.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot. H. (1991). *Bacillariophyceae. Teil 4: Achnanthaceae, Die SüBwasserflora von Mitteleuropa Band 2/4*. Ettl, H., Gerloff, J., Heyning, H. & Mollenhauer, D. (eds.). Gustav Fischer Verlag. Germany, Stuttgart

- Krammer, K. (1997). Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 2. Encyonema part., Encyonopsis und Cymbellopsis. Bibliotheca Diatomologica. Cramer. Stuttgart.
- Lansac-Tôha, F.A., Machado, L. V., Zimmermann-Callegari, M. y Costa, C. B. (2000). On the occurrence of testate amoebae (Protozoa, Rhizopoda) in Brazilian inland waters. I. Family Arcellidae. Acta Scientiarum, Maringá. 22: 355-363.
- Laprida, C., Massaferró, J., Mercáu, J., Cusminsky, G. (2014). Paleobioindicadores del Fin del Mundo: Ostrácodos y Quironómidos del Extremo Sur de Sudamérica en Ambientes Lacustres Cuaternarios. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis, Vol. 21, pp. 97-117.
- Lee J., Leedale G., Bradbury P. 2000. An illustrated guide to the Protozoa. 2. ed. 842-843 pp.
- Lorenschat, J. (2009). Ostrácodos en lagos de altura y de tierras bajas en el sur de Guatemala como bioindicadores. Universidad Técnica de Carolo-Wilhelmina en Braunschweig Alemania.
- Lowe, R. L. (1974). Environmental Requirements and Pollution Tolerance of Freshwater Diatoms. United States Environmental Protection Agency Report EPA-670/4-74-005, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio. 334 pp.
- 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.
- Magaña, V. O., Vazquez, J. L., Pérez, J. B. y Pérez, J. L. (2001). El fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) y sus impactos en México. En Escobar, E. B., Bonilla, M., Badán, A., Caballero, M. y Winckell, A. Ed 1. *Los efectos del fenómeno El Niño en México 1997-1998*. (245 pp). CONACYT.
- Martens, K. & Sukonthip, S. (2011). A subjective checklist of the Recent, free-living, non-marine Ostracoda (Crustacea). Zootaxa. 1-79 p.
- Martínez-Goss, M. y Evangelista, L. (2011). A Contribution to the Taxonomy of Mastogloia (Class Bacillariophyceae) in the Philippines. Philippine Journal of Science. 140: 7-12.
- 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.
- Massaferro, J., Recasens, C., Larocque-Tobler, I., Zolitschka, B., Maidana, N.I. (2012), Major lake level fluctuations and climate changes for the past 16,000 years as reflected by diatoms and chironomids preserved in the sediment of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia. *Quaternary Science Reviews*. Vol. 71. pp. 167- 174.
- Medioli, F., S.; Scott, D., B. (1983). Holocene Arcellacea (Thecamoebians) from eastern Canadá. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research*. 21: 63 pp.
- Medlin, L. y Kaczmarek, I. (2004). Evolution of the diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. *Phycologia*. 43: 245-270.
- Medlin, L. K. (2016). Evolution of the diatoms: major steps in their evolution and a review of the supporting molecular and morphological evidence. *Phycologia*, 55(1), 79–103.
- Medvedeva, L.A., Nikulina, T.V. y Genkal, S.I. (2009). Centric diatoms (Coscinodiscophyceae) of fresh and brackish water bodies of the southern part of the Russian Far East. *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 38: 139-164.
- Meisch, C. (2000). *Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Meisterfeld R (2002) Order Arcellinida Kent. (1880). In: Lee JJ, Leedale GE, Bradbury P (eds) *An illustrated guide to the protozoa*, 2nd ed. Allen Press, Lawrence, Kansas, pp 827–860
- Melo, C. y Cervantes, J. (1986). Propuestas para el programa integral de manejo y desarrollo del parque nacional Lagunas de Montebello, vol. 16. *Boletín Instituto de Geografía*, pp. 9–32.
- Montoya-Moreno, Y. y Aguirre-Ramírez, N. (2013). Knowledge to Ecological Preferences in a Tropical Epiphytic Algae to Use with Eutrophication Indicators. *Journal of Environmental Protection*. 4: 27-35.
- Mora, L.P., Bonifaz, R. y López Martínez, R. (2016). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 68: 377–394.
- Mora, L.P., García, L. A., Ramos, Y. R., Bonifaz, R. y Escolero, O. (2017). Description of

- chemical changes in a large karstic system: Montebello, México. Elsevier. 17: 829 – 832.
- 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.
- Novelo, E., Tavera R.L., Ibarra, C. (2007). Bacillariophyceae from karstic wetlands in Mexico. J. Cramer. Stuttgart Germany.
- Ogden CG, Hedley H. (1980). An atlas of freshwater testate amoebae. Oxford University Press, Oxford: 222 pp.
- Orozco, C. M. (2016). Efecto de las variables fisicoquímicas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los lagos de Montebello. Tesis Maestría. UNAM Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Biología. Ecología.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre, S.L., Roldán, Q.J., Aranda, G.J.J., Morán, Z.D., Alaniz A.S., Nieto, S.A. (1992). Carta Geológica de la República Mexicana, 1:2000000: Washington, Williams & Heintz (Mapa), Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, mapa con texto explicativo, 78 p.
- Paillès, C., Pailles, C., Sylvestre, F., Escobar, J., Tonetto, A., Rustig, S. y Mazur, J.M. (2019). *Cyclotella petenensis* and *Cyclotella cassandrae*, two new fossil diatoms from Pleistocene sediments of Lake Petén-Itzá, Guatemala, Central America. *Phytotaxa*. 4: 247-263.
- Padisak J, Crossetti LO, Naselli-Flores L. (2009). Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*. 621:119.
- Palacios-Fest, M.R. (2010). Late Holocene Paleoenvironmental History of the Upper West Amarillo Creek Valley at Archaeological Site 41PT185/C, Texas, USA. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 399-436.
- Patrick, R. y Reimer, C. W. (1966). The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia.
- Patterson, R. T. (2014). *Mediolus*, a new genus of arcellacea (testate lobose amoebae). *Palaeontologia Electronica*, 17(2), 1-8.
- 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, R. T. y Kumar, A. (2002). A review of current testate rhizopod (thecamoebian) research in Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 180: 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, R.T., Lamoureux, E. R., Neville L. A., Macumber, A. L. (2013). Arcellacea (testate lobose Amoebae) as pH indicators in a pyrite mine-acidified lake, Northeastern Ontario, Canada. *Microb Ecol.* 65: 541–554 pp.
- Patterson, R. T., Huckerby, G., Kelly, T. J., Swindles, G. T., y Nasser, N. A. (2015). Hydroecology of Amazonian lacustrine Arcellinida (testate amoebae): A case study from Lake Quistococha, Peru. *European Journal of Protistology*, 51(5)
- Payne, R, Babeshko, K., Bellen, S., Blackford, J., Booth, R., Charman, D., Ellershaw, M., Gilbert, D., Hughes, P., Jassey, V., Lamentowicz, L., Lamentowicz, M., Malysheva, E., Mauquoy, D., Mazei, Y., Mitchell, E., Swindles, G., Tsyganov, A., Turner, T. y Telford, R. (2016). Significance testing testate amoeba water table reconstructions. *Quaternary Science Reviews*. 1-5 pp.
- Pérez, L., Lorenschat, J., Brenner, M., Scharf, B., Scwalb, A. (2010a). Extant freshwater ostracodes (Crustacea: Ostracoda) from Lago Petén Itzá, Guatemala. *Rev. Biol. Trop.*, 58, 871-895.
- Pérez, L., J. Lorenschat, R. Bugja, M. Brenner y A. Schwalb. (2010b). Distribution, diversity and ecology of modern freshwater ostracodes (Crustacea), and hydrochemical characteristics of Lago Petén Itzá, Guatemala. *Journal of Limnology* 69: 146-159.
- 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., Lorenschat, J., Massaferrro, J., Pailles, C., Sylvestre, F., Hollwedel, W., Brandorff, G.,

- Brenner, M., Islebe, G., Lozano, M. S., Scharf, B & Schwalb, A. (2013). Bioindicators of climate and trophic state in lowland and highland aquatic ecosystems of the Northern Neotropics. *Biol. Trop.* 603-644.
- Pérez, L., Lozano-García, S., Caballero, M. (2015a). Non-marine ostracodes from highland lakes in East-central Mexico: *Revista de Biología Tropical*. 63: 401–425.
- Pérez, L., Laprida, C. y Cusminsky, G. (2015b). Capítulo 8: Crustacea: Ostracoda. En L. Pérez, J. Massaferrero y A. Correa-Metrio. *Paleobioindicadores lacustres neotropicales*. (138-158).
- Picapedra, P. H. S., C., F., & Baumgartner, G. (2019). Structure and ecological aspects of zooplankton (Testate amoebae, Rotifera, Cladocera and Copepoda) in highland streams in southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 31(5), 1-15.
- Prentice, S., Roe, H., Bennion, H., Sayer, C. y Salgado, J. (2018). Refining the palaeoecology of lacustrine testate amoebae: insights from a plant macrofossil record from a eutrophic Scottish lake. *Journal of Paleolimnology*. 60: 189-207.
- Reimer, R. y Reimer, P. (2004). Disponible en: <http://calib.org/CALIBomb>.
- Reinhardt, E. D., Dalby, A., Kumar, A., Patterson, R. T. (1998). Utility of arcellacean morphotypic variants as pollution indicators in mine tailing contaminated lakes near Cobalt, Ontario, Canada. *Micropaleontology*. 44: 1-18.
- Roca, J. R., Baltanás, A., & Uiblein, F. 1993. Adaptive responses in *Cypridopsis vidua* (Crustacea: Ostracoda) to food and shelter offered by a macrophyte (*Chara fragilis*). *Hydrobiologia*, 262(2): 127-131.
- 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.
- Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G. (1990). The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge. 747 pp.
- Segura-García M.V. (2011). Taxonomía y ecología de las diatomeas epilíticas de la cuenca del Alto Lerma, México. Tesis doctoral, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Sigala, I., Lozano-García, S., Escobar, J., Pérez, L., y Gallegos-Neyra, E. (2016). Testate

amoebae (Amoebozoa: Arcellinida) in tropical lakes of Central Mexico. *Revista de biología tropical*, 64(1), 377-397.

- Sigala, I. R. (2017). *Ecología De Amebas Testadas (Amoebozoa: Arcellinida) De Cuerpos De Agua Del Centro De México Y Su Uso Para La Reconstrucción Paleoambiental De Los Últimos 350 Años En El Lago Atezca, Hidalgo*. Tesis UNAM. Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto De Geología. Ecología.
- Sigala, I., Lozano, S., Pérez, L. Caballero, M. y Lugo, A. (2018). Ecological drivers of testate amoeba diversity in tropical water bodies of central Mexico. *J Limnol.* 77: 385-399.
- Sivaci, E. Çankaya, E., Kılınç, S. y Dere, Ş. (2008). Seasonal assessment of epiphytic diatom distribution and diversity in relation to environmental factors in a karstic lake (Central Turkey). *Nova Hedwigia.* 86: 215-230.
- Smeltzer, E. & Swain, E. B. (1985). Answering lake management questions with paleolimnology. En: *Lake and Reservoir management. Practical applications. Proceedings of the Fourth Annual Conference and International Symposium.* 268 - 274 pp.
- Smith, H. G. Bobrov, A. y Lara, E. (2008). Diversity and biogeography of testate amoebae. *Biodivers Conserv.* 17:329–343.
- Smith, R. y Kamiya, T. (2007). Copulatory behaviour and sexual morphology of three *Fabaeformiscandona* Karstic, 1972 (Candoninae, Ostracoda, Crustacea) species from Japan, including descriptions of two new species. *Hydrobiologia.* 585:225–248.
- Smith, A.J. y Delorme, L.D. (2010). Chapter 19. Ostracoda. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates.* Academic Press, London, 725-772.
- Smol J.P., Last W.M., Birks H.J. (2001). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Volume 4: Zoological Indicators (Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands).* 41 pp.
- Stoermer, EF, Kingston, JC y Sicko-goad, L. (1979). La morfología y las relaciones taxonómicas de *Stephanodiscus binderanus* var. *oestrupii* (A. Cl.) A. Cl. *Nova Hedwigia, Beih.* 64: 65-78.
- Sui, F., Zang, S., Fan, Y., & Ye, H. (2016). Effects of Different Saline-Alkaline Conditions on the Characteristics of Phytoplankton Communities in the Lakes of Songnen Plain, China. *PLOS ONE*, 11(10)
- Sullivan, M. E. y Booth, R. K. (2011). The potential influence of short-term environmental

- sciences variability on the composition of testate amoeba communities in Sphagnum peatlands. *Microb Ecol.* 62: 80-93.
- Szeroczynska, K. (2002). Human impact on lakes recorded in the remains of Cladocera (Crustacea). *Quaternary International*, 95:165–174.
- Szeroczynska, K. y Sarmaja-Korjonen, K. (2007). Atlas of subfossil Cladocera from Central and Northern Europe. Friends of the Lower Vistula Society. Poland. 83 pp.
- Téllez, B.C. (2011). Nuevas citas para Cuba de *Goeldichironomus natans* Reiss, 1974 y *Goeldichironomus holoprasinus* Goeldi, 1905 y *Coelotanypus scapularis* Loew, 1866, a partir de larvas saproxilófilas (Diptera: Chironomidae). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*. 49: 299-301.
- Velho, L.F.M., Lansac-Tôha, F.A. y Serafim-Junior, M. (1996). Testate amoebae (rhizopodea-sarcodina) from zooplankton of the high paraná river Floodplain, state of mato grosso do sul, brazil. Families arcellidae and Centropyxidae. *Stud Neotrop Fauna & Environm.* 31: 35-50.
- Vera-Franco, M., Hernández-Victoria, P., Alcocer, J., Ardiles-Gloria, V. y Oseguera, L. (2015). Concentración y distribución vertical de la clorofila-a fitoplanctónica en los lagos de Montebello, Chiapas. En *Tendencias de Investigación en Limnología Tropical: Perspectivas Universitarias en Latinoamérica*. Alcocer, J., Merino-Ibarra, M. y Escobar-Briones, E. (Editores).
- Volik, O., McCarthy, F. M. G. y Riddick, N. L. (2016). Insights from pollen, non-pollen palynomorphs and testate amoebae into the evolution of Lake Simcoe. *J Paleolimnol.* 56: 137–152.
- Wang, Ch., Li, X., Laiz Z., Tan, X., Pang, S., Yang, W. (2009). Seasonal variations of *Aulacoseira granulata* population abundance in the Pearl River Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85: 585–592.
- Wang, Ch., Baehr Ch., Lai, Z., Gao, Y., Lek, S., Li, X, (2015). Exploring temporal trend of morphological variability of a dominant diatom in response to environmental factors in a large subtropical river. *Ecological Informatics.* 29: 2. 96-106
- Walker, I. R., (1987). Chironomidae (Diptera) In *Paleoecology*. *Quaternary Science Reviews*. Vol. 6, pp. 29-40.
- Wetzel, R. (2001) *Limnology. Lake and river ecosystems*. USA. Academic Press:

- Wotjal, A. Z. y Kwandrans, J. (2006). Diatoms of the Wyżyna Krakowsko-Częstochowska upland (S Poland)–Coscinodiscophyceae (Thalassiosirophycidae). *Polish Botanical Journal*. 2: 177-207.
- Zárate-Toledo, A. (2015). Tierra, bosque y agua en las Lagunas de Montebello: procesos espaciales y disputas por los recursos en Ojo de Agua, Chiapas. Tesis doctoral. Centro de investigaciones y estudios superiores en antropología social (CIESAS).