



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Ciliados de tres cauces del parque estatal “Sierra
de Tepotzotlán”, Estado de México, México:
aspectos taxonómicos y de evaluación saprobia**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

CARLOS ANTONIO GONZÁLEZ PALMA



**DIRECTOR DE TESIS:
Dra. Rosaura Mayén Estrada
2016**

Ciudad Universitaria, Ciudad de México



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

LIC. IVONNE RAMÍREZ WENCE
Directora General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Ciliados de tres cauces del parque estatal "Sierra de Tepetzotlán", Estado de México, México: aspectos taxonómicos y de evaluación saprobia

realizado por **Carlos Antonio González Palma** con número de cuenta **309079598** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Víctor Manuel Luna Pabello

Propietaria Dra. María del Rosario Sánchez Rodríguez

Propietaria Dra. Rosaura Mayén Estrada
Tutora

Suplente M. en C. Sebastián Ricardo Zúñiga Lagunes

Suplente Biól. Marco Antonio Tapia Palacios

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., A 2 DE FEBRERO DE 2017

JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

1. Datos del alumno.

González

Palma

Carlos Antonio

56224924

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

309079598

2. Datos de asesor

Dra.

Rosaura

Mayén

Estrada

3. Datos del sinodal 1

Dr.

Víctor Manuel

Luna

Pabello

4. Datos del sinodal 2

Dra.

María del Rosario

Sánchez

Rodríguez

5. Datos del sinodal 3

M. en C.

Sebastián

Zúñiga

Lagunes

6. Datos del sinodal 4

Biól.

Marco Antonio

Tapia

Palacios

"Life on earth is more like a verb. It repairs, maintains, re-creates, and outdoes itself"

Lynn Margulis

Dedicatoria

Para mis padres Marco Antonio y Betty
este trabajo es para ustedes, porque yo no
estaría aquí sin su apoyo,
muchas gracias

Para mis hermanos Jean Marco y
Diego Armando

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México porque me ha permitido crecer como persona y científico, es un honor formar parte de esta institución.

A la Dra. Rosaura Mayén Estrada por todo el conocimiento que me brindó desde el momento en que llegué al Laboratorio de Protozoología, por formarme como científico y por dedicar su tiempo para que este trabajo pudiera realizarse.

A la Biól. Margarita Reyes Santos por todo su apoyo académico y personal durante el tiempo que estuve trabajando en el laboratorio.

Al Dr. Víctor Manuel Luna Pabello por los comentarios acerca de mi tesis.

A la Dra. María del Rosario Sánchez Rodríguez por todas las observaciones que hizo de mi trabajo y por los limno-consejos.

Al M. en C. Sebastián Zúñiga Lagunes por los comentarios y sugerencias para mi trabajo. A la Dra. Cecilia Vanegas Pérez, Biól. Sebastián Vadillo González y P. de Biól. José Manuel Valdez por su apoyo con los procedimientos de cuantificación de fracciones de nitrógeno.

Al M. en C. Marco Antonio Tapia Palacios por sus comentarios sobre mi trabajo durante todos los niveles del taller y como jurado.

A la Dra. María Edith Ponce Márquez por su apoyo con el procedimiento para la cuantificación de fosfatos.

Al L. D. G. Cristian Jesús Cristóbal Palma por su ayuda con la realización de los esquemas digitales.

A mis compañeros de laboratorio: M. en C. Fernando Olvera Bautista, M. en C. Carlos Alberto Duran AKA "*Señor D*", Biól. Daniel Méndez Sánchez AKA "*Darth Danius*", Biól. Jorge Humberto Medina Duran, Biól. Daniel Yomaria Rojas AKA "*La parcera*", Biól. Victor Manuel Romero Niembro AKA "*Wolken*" y P. de Biól. Gerardo Cruz Jiménez, por hacer amenos los días de trabajo.

Especiales agradecimientos a la Biól. Mireya Ramírez Ballesteros y la Biól. Jazmín Aristeo Hernández por jalarme las orejas para que me apurara con mi trabajo, por todas las mañanas de café antes de trabajar, por los consejos personales y por aguantarme cuando cantaba frente a la cámara de flujo, las quiero mucho.

A todos los miembros de Esporopo-lignina: Cristina, Maricela, Yara, Iván, Valeria, Ameyalli, Armando, Elizabeth, Angélica y los que se me olvido poner.

A mis amigos y compañeros del equipo Arsenal por los domingos de futbol, especialmente a Giovanni Damián que es uno de mis amigos de más años y a Adán Martínez Corona por cargar el libro que perdí desde Indiana USA.

A mis revisores no oficiales: Lizbeth Pineda, Alondra Vega Domínguez y Alejandro Gaona Dehesa, a los últimos dos además por ser muy buenos amigos.

A mis amigos Alejandra Silva Guzmán, Ulises López Mora, Nicole Gama y Leslie Díaz Martínez que siempre tienen tiempo para platicar cuanto uno se siente apachurrado.

A mi mejor amigo Alejandro Miguel Cisneros Martínez compañero de aventuras y desventuras, por todas las pláticas, cervezas y momentos que hemos compartido durante los últimos 6 años.

Finalmente, a los incondicionales RAMONES: Raymundo, Jonathan, Carolina, Mónica, Sara, Miriam, Angélica, Rafael, Jesús, Rubí y Dinorah, amigos desde los lejanos tiempos en CCH Naucalpan.

ÍNDICE

I RESUMEN	2
II INTRODUCCIÓN	4
2.1 Agua	4
2.2 Saprobiedad	5
2.3 Phylum Ciliophora	9
2.4 Ciliados y su relación con las condiciones ambientales	12
2.5 Estudio de los ciliados y su relación con las condiciones de saprobiedad en sistemas acuáticos de México	12
III. JUSTIFICACIÓN	15
IV. OBJETIVOS	15
4.1 General	15
4.2 Particulares	15
V ÁREA DE ESTUDIO	16
VI MATERIALES Y MÉTODOS	18
6.1 Colecta en campo	18
6.2 Laboratorio	19
VII RESULTADOS	23
7.1 Consideraciones citológicas	25
7.2 Temporada de lluvias	43
7.2.1 Análisis de agrupamiento	43
7.2.2 Análisis de componentes principales	46
7.3 Temporada seca	47
7.3.1 Análisis de agrupamiento	47
7.3.2 Análisis de componentes principales	49
7.4 Comparación de temporadas	50
7.4.1 Análisis de agrupamiento	51
7.4.2 Datos fisicoquímicos	52
VIII DISCUSIÓN	57
8.1 Taxonómica	57
8.2 Saprobiedad	57
8.3 Fisicoquímicos	59
IX CONCLUSIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	65

I. RESUMEN

A la concentración de materia orgánica altamente biodegradable disuelta en un cuerpo de agua, se le denomina saprobiedad. El estado saprobio de un sistema acuático puede ser determinado realizando mediciones fisicoquímicas o mediante el análisis de las comunidades biológicas que habitan en él, este método de monitoreo es denominado sistema saprobio.

Con el objetivo de inferir el grado de saprobiedad considerando las especies de ciliados, fueron realizadas dos recolectas en el año 2015 en el parque estatal "Sierra de Tepetzotlán". El primer muestreo se realizó durante la temporada de lluvias (mes de julio de 2015) y el segundo en el mes de octubre, que es uno de los meses con la precipitación más baja del sitio. Se seleccionaron seis puntos de muestreo ubicados sobre tres cauces dentro del parque. En cada punto se recolectaron seis muestras por cada temporada, tres se utilizaron para medir la concentración de nitritos, amonio y fósforo total, mientras que las restantes se destinaron a la observación de las especies de ciliados. En total se obtuvieron 72 muestras. Se realizaron cultivos polixénicos de los organismos en infusiones de arroz y cebada; posteriormente se utilizaron técnicas micrográficas como hematoxilina de Harris, Klein, NMF y carbonato de plata para resaltar los caracteres diagnósticos. Las especies fueron observadas con microscopía de campo claro, contraste de fases y DIC, lo que permitió obtener un registro micrográfico y morfométrico así como realizar la determinación taxonómica, para la cual se consultó bibliografía especializada.

Fueron registradas 18 especies en este trabajo. De acuerdo con el listado de Foissner & Berger (1996) cinco de ellas son indicadoras de α - β mesosaprobiedad (*Coleps hirtus*, *Paramecium aurelia*, *Stentor coeruleus*, *Urocentrum turbo* y *Vorticella campanula*), una es considerada como α saprobia (*Euplotoides eurytomus*), una con un grado de tolerancia muy amplio o eurisaprobia (*Cinetochilum margaritaceum*) y *Glaucoma scintillans* se ha catalogado como α -polisaprobia.

Se propone a *Blepharisma sinuosum* y *Euplotoides octocarinatus* como indicadoras de α - β mesosaprobiedad, ya que estas especies no han sido

consideradas como bioindicadoras por otros autores, aunque se reconoce la necesidad de aumentar la información sobre estas especies ya que hacen falta datos que validen estadísticamente su capacidad real para evaluar las condiciones presentes en los sistemas acuáticos.

Con base en esta comunidad se infirió que los tres cauces estudiados presentan condiciones entre la α y β mesosaprobiedad y fueron catalogadas como aguas moderadamente contaminadas.

II. INTRODUCCIÓN

2.1 Agua

El agua dulce es un recurso natural de gran importancia puesto que su disponibilidad influye directamente en la calidad de vida de la población y el funcionamiento del sistema económico. Actualmente el manejo inadecuado del recurso, propiciado por la sobreexplotación y contaminación, ha provocado que existan problemas en cuanto a su disponibilidad en algunas partes del planeta, así como pérdida en su calidad dentro de sus líneas de flujo ambiental (ríos, lagos, etc.) (Orlove & Caton, 2010). El crecimiento acelerado de la población es una de las principales causas de esta degradación, ya que, para poder satisfacer la producción actual de bienes y servicios, se obliga al uso generalizado de prácticas de producción no sostenibles y en muchos casos dañinas para los ecosistemas acuáticos (Padrón-Cruz & Cantú-Martínez, 2009; Gómez-Calero, 2010).

Un ejemplo de lo anterior es la producción alimentaria industrializada, específicamente la agricultura intensiva de alto rendimiento, la cual depende del uso de fertilizantes y pesticidas para mantener la producción. Durante la “Revolución verde” (1965-1995), el uso global de fertilizantes nitrogenados se incrementó un 700% mientras que el uso de fertilizantes fosforados aumentó en un 350%, este hecho tuvo un fuerte impacto sobre las condiciones de muchos cuerpos de agua alrededor del mundo, debido a que la tasa de absorción de nutrientes (presentes en los fertilizantes) por parte de las plantas cultivadas no es del 100%. Se sabe que sólo entre el 30-50% del nitrógeno y aproximadamente el 45% del fósforo aplicados en los cultivos son aprovechados por las plantas, mientras que el resto, especialmente el nitrógeno, se libera en las aguas superficiales y subterráneas, lo que desencadena un aumento en la producción primaria (Evenson & Gollin, 2003; Gómez-Calero, 2010).

La degradación de los recursos hídricos puede ocasionar la modificación de la composición de especies de un sistema, por ejemplo, haciendo que algunas de las especies que habitan en él desaparezcan, o igualmente llevando a la pérdida de los servicios ecosistémicos que estos proporcionan. Los servicios ecosistémicos se definen como “aquellos aspectos de los ecosistemas que son utilizados (activa o

pasivamente) para producir el bienestar humano” (Fisher *et al.*, 2009), estos son clasificados según el *Millennium Ecosystem Assessment* de 2005, como de abastecimiento (provisión de agua y alimentos), procesos de regulación (climática, polinización), culturales (recreación, ecoturismo, valor religioso, cultural o valor estético) y de soporte (formación de suelo, fotosíntesis, producción primaria, ciclo del agua).

Solo la gestión eficaz de los ecosistemas puede sostener el aprovechamiento de tales servicios, para lo cual es necesario tener un manejo y monitoreo adecuados de los ecosistemas, con herramientas que permitan evaluar su estado (Smith *et al.*, 1999).

2.2 Saprobiedad

A la concentración de materia orgánica altamente biodegradable disuelta en un cuerpo de agua, se le denomina saprobiedad, ésta también puede ser definida como todos aquellos procesos que son la antítesis de la producción primaria o la suma de todos los procesos que van acompañados por la pérdida de la energía potencial presente en la materia orgánica durante su descomposición (García-Díaz, 2010; Luna-Pabello, 2006).

El estado saprobio de un sistema acuático puede ser determinado realizando mediciones fisicoquímicas o mediante el análisis de las comunidades biológicas que habitan en él, ya que existen grupos de microorganismos degradadores (bacterias, hongos, protistas) que pueden utilizar la materia orgánica que se encuentra disuelta en el agua y tienen una relación importante con los procesos de descomposición, por lo que pueden ser indicadores de contaminación por materia orgánica. El método de monitoreo basado en la presencia de determinadas especies de organismos en el agua se denomina sistema saprobio (García-Díaz, 2010; Luna-Pabello, 2006).

El sistema saprobio contempla cuatro categorías principales de calidad del agua (Luna-Pabello *et al.*, 1994; Fig. 1):

1.- Catarobiedad (del griego *kataros*, puro)

Aguas más limpias y potables, aptas para beber. Ningún organismo vive en ellas.

2.- Limnosaprobiedad (del griego *limne*, lago)

Aguas superficiales y/o subterráneas aerobias, comprenden aguas limpias, moderadas o altamente contaminadas. Hay presencia de organismos productores, consumidores y degradadores. Esta categoría comprende cinco subniveles:

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| a) Xenosaprobio (x) | d) α -mesosaprobio (a) |
| b) Oligosaprobio (o) | e) polisaprobiedad (p) |
| c) β -mesosaprobio (b) | |

3.- Eusaprobiedad (del griego *eu*, verdadero)

Son aguas residuales con material disuelto y/o concentrado, bajo descomposición por medio de procesos anaerobios, se subdivide en cuatro categorías:

- | | |
|-----------------|------------------|
| a) Isosaprobio | c) Hipersaprobio |
| b) Metasaprobio | d) Ultrasaprobio |

4.- Transaprobiedad (del griego *trans*, más allá) Son aguas con características especiales e independientes de la saprobiedad, como toxicidad, radioactividad o factores físicos que impiden prácticamente la proliferación de cualquier ser vivo.

En los sistemas acuáticos una de las comunidades más abundantes y diversas, son los protistas ciliados, éstos tienen una gran importancia en las redes tróficas microbianas, ya que son los principales consumidores de bacterias en los sistemas acuáticos, además propician la formación de flóculos por la secreción de productos mucilaginosos (Tirjaková & Vd'ačný, 2013).

Según el grado de tolerancia a las condiciones ambientales, se puede clasificar a estos organismos en dos grupos: "euri" y "esteno" siendo los primeros aquellos que presentan un intervalo de supervivencia muy amplio puesto que cuentan con una capacidad adaptativa muy grande, mientras que los segundos están confinados a ambientes con características muy específicas al no contar con la maquinaria fisiológica necesaria para soportar cambios en las condiciones ambientales (Adams & Greeley, 2000; Luna-Pabello, 2006).

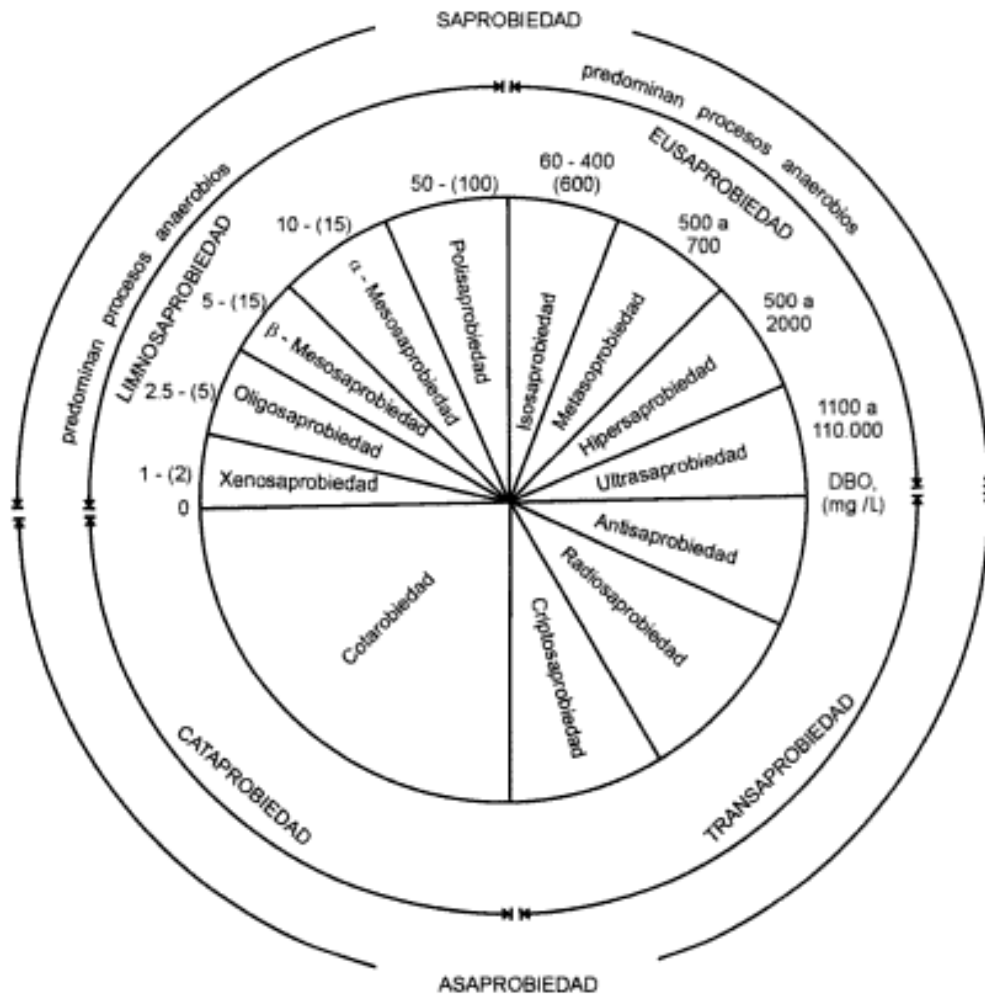


Figura 1. Esquema del sistema saprobio (Tomado de Luna-Pabello *et al.*, 1994)

Se han propuesto sistemas de evaluación de la saprobiedad considerando diversos grupos biológicos de organismos como las diatomeas, macrofitas (Luna-Pabello, 2006; Friberg, 2014) o los ciliados, para los cuales existen listados e índices de especies usadas como indicadoras como son los propuestos por: Pantle & Buck, 1955; Sladeckova & Sládeček, 1966; Bick, 1972; Foissner & Berger, 1996; Jian & Shen, 2005.

Algunos de los índices como el de Jian & Shen (2005) asignan a cada especie un valor de contaminación (*Species Pollution Value*; equivalente a la valencia

saprobia), lo que resulta en un valor de contaminación de la comunidad (*Community Pollution Value*) que es calculado siguiendo la siguiente fórmula:

$$CPV = \frac{\sum SPV}{n}$$

SPV: Valor de contaminación de cada especie en Jian & Shen (2005)

n: número de especies

El criterio de clasificación del CPV sigue los siguientes intervalos:

CPV (*Community Pollution Value*)

<4.61	Agua no contaminada o limpia, generalmente apta para el consumo humano después de tratamiento
4.61–4.75	Agua ligeramente contaminada
4.75–4.84	Agua moderadamente contaminada
4.84–4.90	Agua fuertemente contaminada
>4.90	Agua severamente contaminada

Este índice permite catalogar de manera sencilla el grado de contaminación de un sistema.

2.3 Phylum Ciliophora

El phylum Ciliophora según Lynn (2008) presenta tres sinapomorfias que son:

1. Presencia de cilios (en alguna parte del ciclo de vida) en disposición y número variable, todos ellos derivados de cinetosomas con tres asociados fibrilares, los cuales son: una fibrilla cinetodesmal, una cinta microtubular y una cinta de microtúbulos transversal (Fig. 2).
2. Son heterocariontes lo que quiere decir que tienen dos tipos de núcleo: macronúcleo y micronúcleo, el primero controla las funciones celulares y bioquímicas, mientras que el último funge como una reserva de la línea germinal.
3. Tienen un proceso de transferencia horizontal de genes en el cual dos individuos se fusionan temporalmente e intercambian micronúcleos.

Se tienen registradas aproximadamente 8,000 especies en todo el mundo (Fig. 3), estas se agrupan en dos subphyla y 11 clases. En México el número de registros asciende a aproximadamente 959 que corresponde a un 12% del total mundial, aunque se estima que entre el 83-89% de la diversidad de ciliados aún no ha sido descrita (Foissner *et al.*, 2008; Mayén-Estrada *et al.*, 2014).

Los ciliados han logrado colonizar una gran variedad de hábitats alrededor del mundo, como organismos libres nadadores en ambientes dulceacuícolas, salobres y marinos, en las regiones polares, los desiertos, los suelos o en plantas, como en la fitotelmata de las bromelias, el agua en la superficie de los musgos y otros tipos de vegetación. También son simbioses, por ejemplo, en el rumen, la superficie de crustáceos y moluscos acuáticos e incluso algunos son parásitos, por ejemplo, *Balantidium coli* que es el agente causal de la balantidiasis en los seres humanos (Foissner *et al.*, 2008; Poloni *et al.*, 2015).

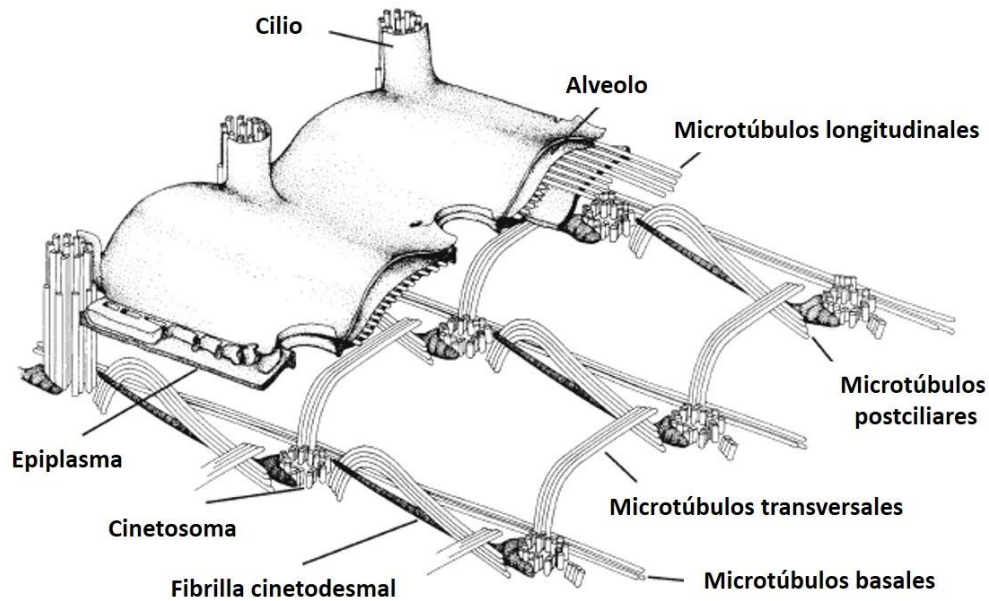


Figura 1. Estructuras de la corteza de un ciliado (Modificado de Lynn, 2008)

La presencia y distribución de los ciliados está determinada principalmente por factores bióticos y abióticos como:

- Oxígeno disuelto (OD): la mayoría de las especies requiere de oxígeno libre para sobrevivir, por lo cual el OD representa un factor ecológico que determina la presencia o ausencia de las especies. Existen organismos como *Paramecium bursaria*, que usualmente habita en sistemas donde la concentración de oxígeno es alta (67-117 % de saturación), otros como *Metopus sigmoides* que se ha registrado en ambientes poco oxigenados (5.3-32% de saturación), y entre las especies con un rango amplio de tolerancia se encuentra *Coleps hirtus* que habita en concentraciones de oxígeno entre 31-214 % de saturación (Noland, 1925; Fenchel & Bernard, 1996).
- Temperatura: tiene efectos variables sobre los procesos de crecimiento de los protistas. Finlay (1980), registró una alta abundancia de ciliados durante la temporada con mayor temperatura de un lago eutrófico irlandés.

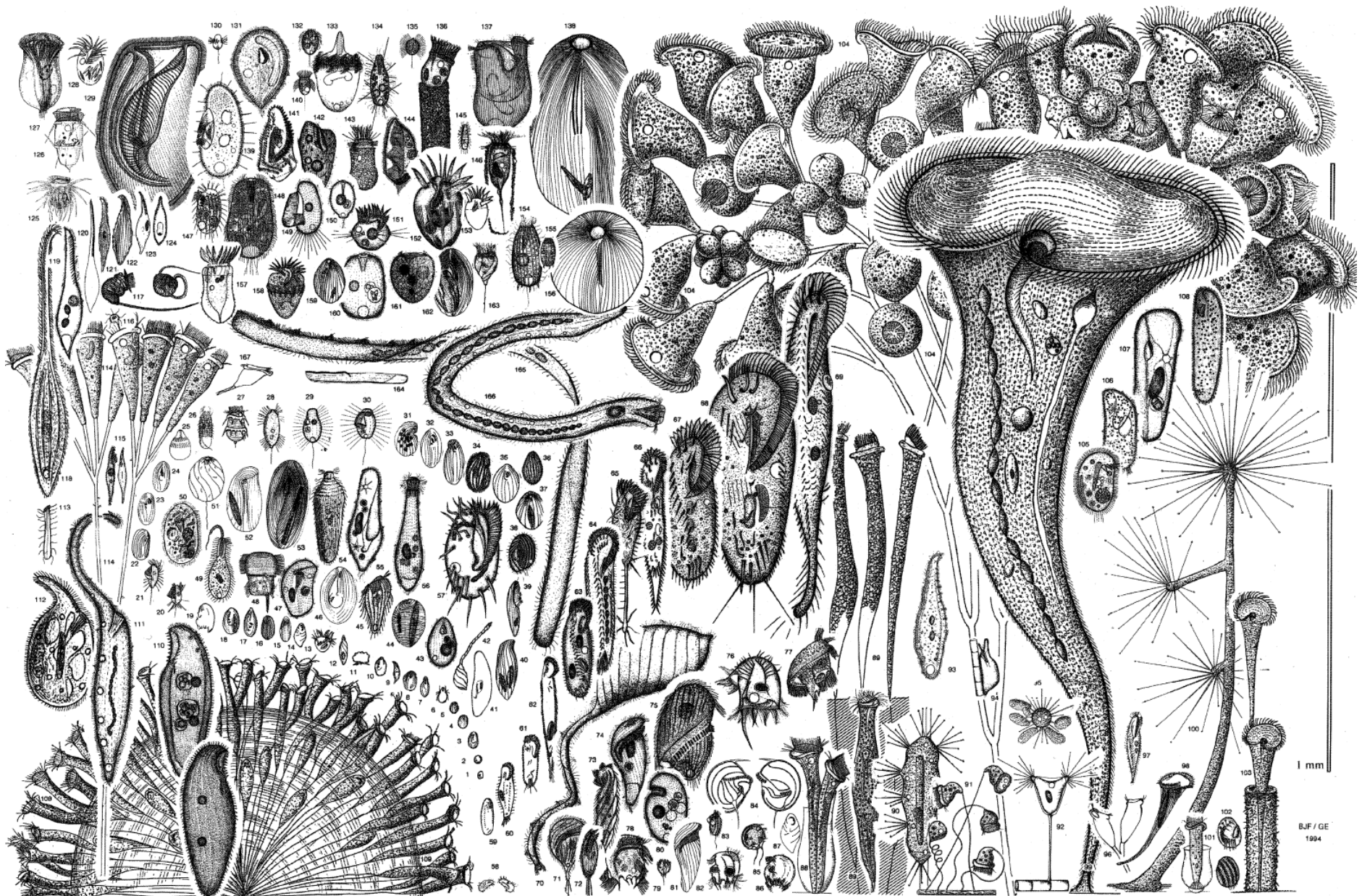


Figura 2. Diversidad citológica de los ciliados (Tomado de Finlay & Esteban, 1998).

- Nutrimientos: El nitrógeno (NO_3 , NO_2 y NH_4) y el fósforo (PO_4 principalmente) influyen de forma importante sobre las poblaciones de ciliados, ya que estos nutrientes desencadenan la producción primaria y por tanto aumentan el número de organismos (alimento) disponible para los ciliados. Beaver & Crisman (1990), registraron incrementos simultáneos en la abundancia de oligotríquidos (*Strombidium viridis*) y clorofitas (*Chlamydomonas*, *Stichococcus* y *Chlorella*) en un lago oligotrófico; ellos consideraron que el nitrógeno fue un elemento muy importante para el metabolismo de las clorofitas y que los altos niveles de este elemento medidos en el agua, incrementaron el número de algas que sirvieron de alimento a *Strombidium viridis* propiciando su abundancia.

2.4 Ciliados y su relación con las condiciones ambientales

Los ciliados pueden encontrarse prácticamente en todos los sistemas acuáticos del mundo, estos pueden utilizarse como bioindicadores gracias a las siguientes características: un muestreo representativo no daña de forma drástica la estructura de la comunidad, la especificidad de algunas especies de ciliados a ciertas condiciones ambientales, el transporte y almacenaje de las muestras se puede hacer de forma sencilla, pueden ser cultivados con relativa facilidad y presentan tiempos de generación relativamente cortos por lo que reaccionan rápidamente a cambios en el medio acuático.

Existen diversos trabajos como son los de Cairns (1982), Foissner (1992), Foissner & Berger (1996), Jian & Shen (2005) y Xu *et al.* (2005) donde se propusieron metodologías para utilizar a los ciliados como indicadores de diversas condiciones acuáticas y a su vez como herramientas para el monitoreo de la salud de un sistema.

2.5 Estudio de los ciliados y su relación con las condiciones de saprobiedad en sistemas acuáticos de México

En México los trabajos enfocados a conocer los efectos de las condiciones de saprobiedad en los ciliados son muy escasos y la mayoría de estos estudios han

sido realizados en sistemas artificiales como plantas de tratamiento o humedales artificiales.

Nomdedeu & López-Ochoterena (1988) identificaron 35 especies de ciliados en el Río Magdalena en la Ciudad de México, señalaron que en los sitios de muestreo el número de especies no varió de forma significativa, aunque la densidad de estos se incrementó río abajo. Concluyeron que el río presentó condiciones mesosapróbicas.

Luna-Pabello (1987) identificó 12 especies de ciliados presentes en un sistema de tratamiento de agua de tipo Reactor Biológico Rotatorio (RBR) y determinó el nivel de saprobiidad para estos mediante la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), que es un análisis que permite determinar la concentración de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua. Luna-Pabello (1990) midió el efecto de la temperatura en 12 especies de un sistema RBR, encontró una mayor abundancia de ciliados a una temperatura de 20°C, y observó una gran similitud entre la comunidad de ciliados del RBR y la de ambientes naturales contaminados con materia orgánica biodegradable.

Luna-Pabello (1993) registró 22 especies de ciliados y analizó el efecto de la variación de las condiciones fisicoquímicas y la diversidad de ciliados en tres tipos de aguas residuales al ser tratadas en un sistema RBR.

García-Santana (2000) analizó la comunidad de ciliados en un filtro biológico aerobio, e identificó 18 especies de ciliados con tendencias entre la α -mesosaprobiidad y la β -mesosaprobiidad.

Toledo-Trejo (2007) registró 28 especies de ciliados en un sistema de lodos activados, siendo *Vorticella microstoma* y *Aspidisca cicada* las especies que observó con más frecuencia, los ciliados libres nadadores fueron más comunes en las fases iniciales del sistema y las especies sésiles lo fueron en la zona central. Las especies indicaron un estado de saprobiidad entre la β -mesosaprobiidad y la polisaprobiidad.

III. JUSTIFICACIÓN

El registro de protistas ciliados en cuerpos de agua del Estado de México es muy escaso, por lo que se pretende contribuir al conocimiento taxonómico de este grupo, haciendo énfasis en la presencia de especies de ciliados y su posible relación con el estado saprobio de un sistema, complementado con el registro de algunos factores fisicoquímicos.

IV. OBJETIVOS

4.1 General

Caracterizar el estado saprobio de tres cauces del parque estatal “Sierra de Tepetzotlán”, identificando la comunidad de ciliados y su relación con algunos factores fisicoquímicos.

4.2 Particulares

- I. Determinar y comparar la composición de especies de ciliados en los tres cauces en dos épocas climáticas.
- II. Elaborar un listado taxonómico de las especies de ciliados que habitan en tres cauces de la Sierra de Tepetzotlán, Estado de México.
- III. Registrar las condiciones fisicoquímicas a lo largo de los tres cauces.
- IV. Analizar la relación entre los parámetros fisicoquímicos registrados y la comunidad de ciliados.
- V. Caracterizar el grado de saptobiedad del sistema

V. ÁREA DE ESTUDIO

El parque estatal “Sierra de Tepotzotlán” es un Área Natural Protegida (ANP) que se localiza a 42.5 km al norponiente de la Ciudad de México, tiene una extensión aproximada de 13,175 ha que se reparten entre los municipios de Tepotzotlán y Huehuetoca en el Estado de México (Fig. 4). Es una formación montañosa con una topoforma catalogada como “Sierra”, se compone por un conjunto de elevaciones, barrancas y lomeríos que van de los 2,350 hasta los 2,980 msnm y corresponde al segundo sistema orográfico de la Sierra Madre Occidental (Saavedra, 2009; Romero-Barrera & Morales-Vázquez, 2000; GEM, 2004).

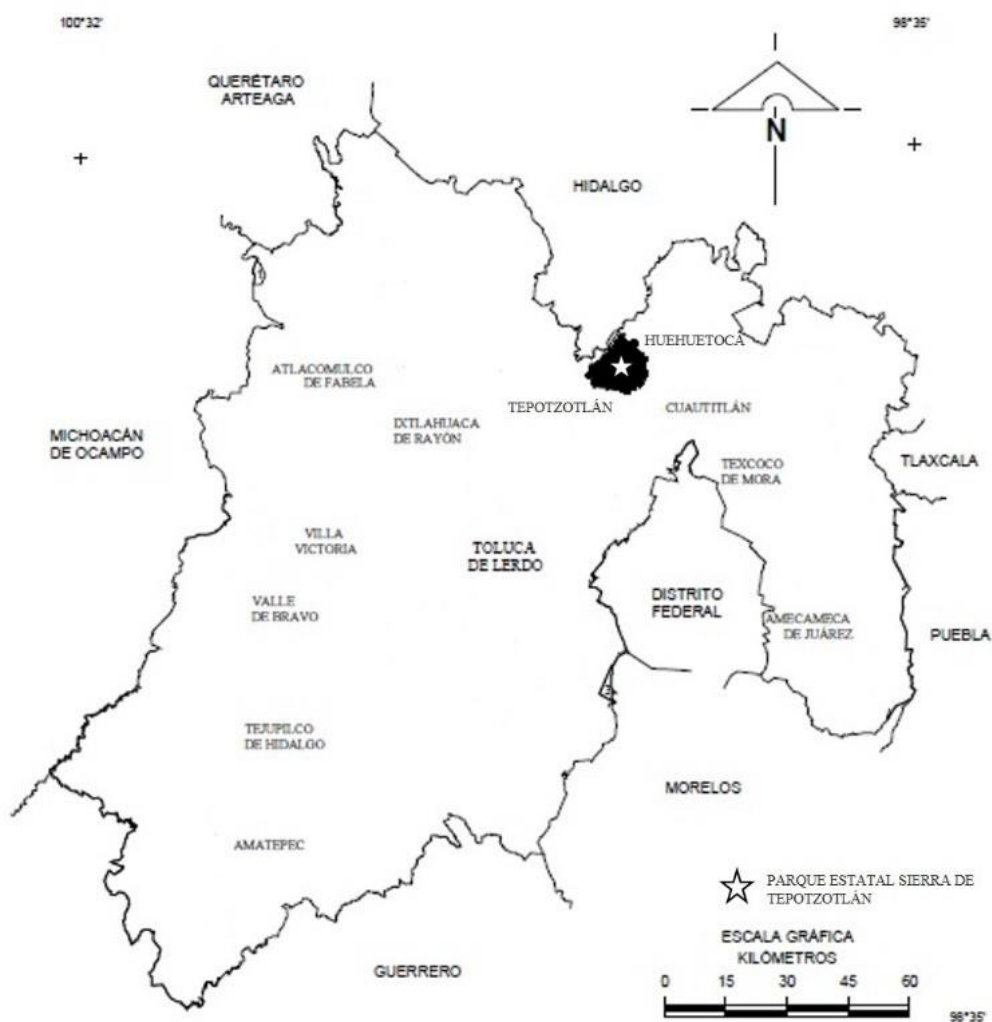


Figura 4. Localización del parque estatal Sierra de Tepotzotlán (Modificado de INEGI, 2005).

Según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado para México por García (1978), el clima del área es C (w) (w') que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano (Fig. 5) (GEM, 2004).

La Sierra de Tepetzotlán se encuentra ubicada dentro de la región Hidrológica No. 26 “Región del Panuco”; al interior del ANP existen 238 cauces de diferentes órdenes con una longitud acumulada de 250.19 km, estos abastecen dos cuerpos de agua fuera del Parque Estatal, la “Presa la Concepción” y la “Presa Cuevecillas”, siendo esta última una importante área de reposo (sitio de descanso antes de alcanzar el área donde invernan) para la fauna migratoria (GEM, 2004).

Existen cuatro tipos de vegetación principales: bosque esclerófilo caducifolio, matorral crasicaule, matorral bajoesclerófilo caducifolio y pastizales; debido al crecimiento demográfico existen zonas con una alta perturbación, zonas erosionadas y pequeñas áreas de cultivo (Romero-Barrera & Morales-Vázquez, 2000).

En el parque estatal se registra la existencia de siete clases de suelo: Feozem, Vertisol, Cambisol, Litosol, Regosol, Luvisol y Fluvisol, aunque en conjunto los primeros tres tipos representan un poco más del 90% de la superficie total del parque (GEM, 2004).

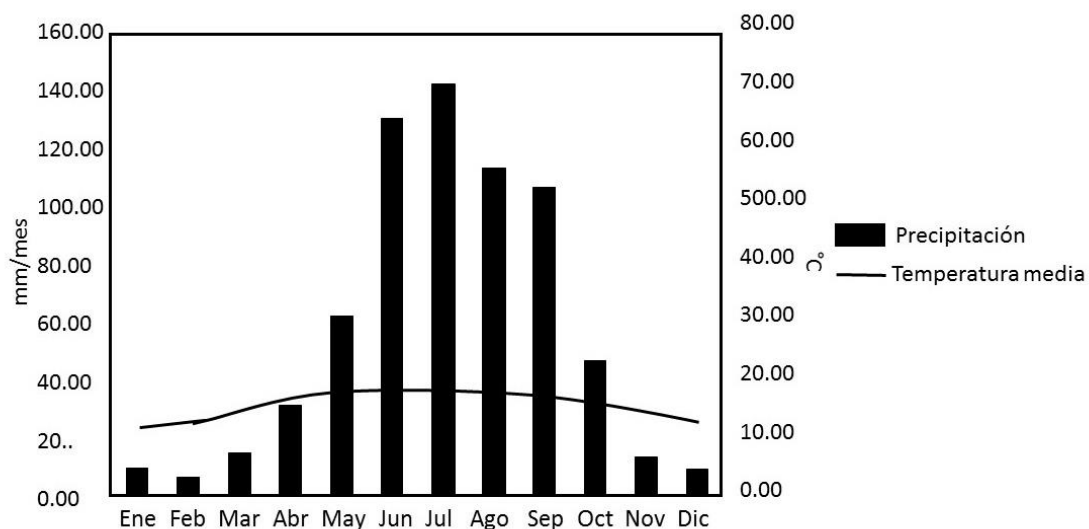


Figura 5. Climograma de la Sierra de Tepetzotlán (Modificado de Poder Ejecutivo del Estado de México, 2004)

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Colecta en campo

Fueron realizados dos muestreos, el primero durante la temporada de lluvias (mes de junio de 2015) y el segundo en el mes de octubre de 2015, que es uno de los meses con la precipitación más baja en el sitio (secas). Se seleccionaron seis puntos de muestreo ubicados longitudinalmente en tres cauces dentro de la Sierra de Tepotzotlán (Fig. 6 y 7). Los dos primeros puntos se ubicaron en el sitio de nacimiento de los cauces (Puntos Cima, 1-6), dos más en la parte media de los mismos (Puntos Trayecto, 2-5), el siguiente punto en el lugar donde confluyen ambos (Punto Cruce 3) y un último punto en la parte baja del caudal de orden mayor formado por la unión de los primeros dos efluentes (Punto Término 4, Fig. 7).

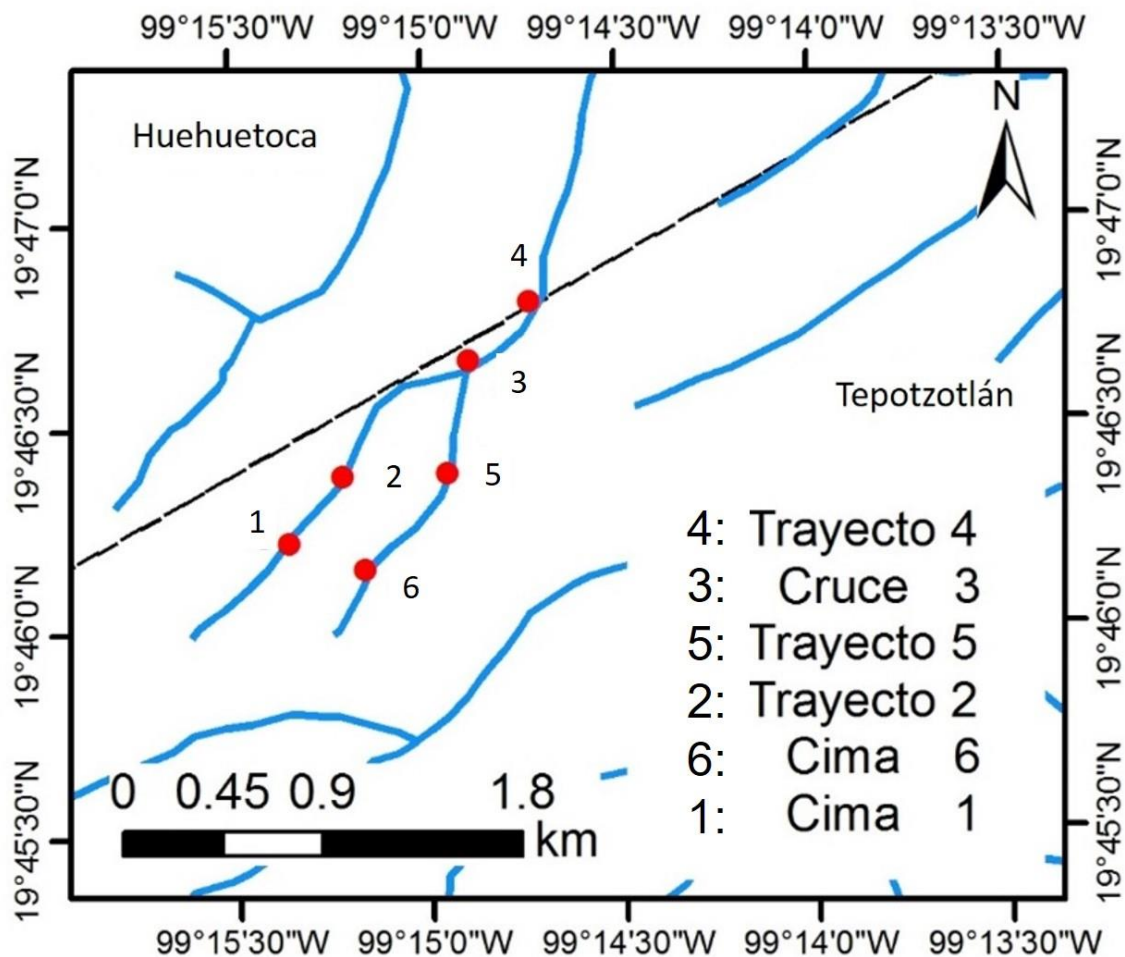


Figura 6. Puntos de muestreo en el parque estatal “Sierra de Tepotzotlán”

Se recolectaron en total 72 muestras de agua, seis por cada punto en cada temporada. Las tres muestras que se utilizaron para la revisión de los ciliados, se tomaron en un recipiente de un litro en la parte media del caudal a una profundidad de aproximadamente 15 cm; para cada una de estas muestras se filtraron dos litros de agua utilizando un copo con abertura de malla de 32 μm hasta obtener 250 ml, estas fueron transportadas y mantenidas a temperatura ambiente en el Laboratorio de Protozoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM (Aladro-Lubel, 2009).

Las muestras para el análisis de nutrientes fueron recolectadas con jeringas de 10 mL con filtros Millex-HPF de 0.2 μm de abertura y posteriormente fueron inyectadas con ayuda de agujas estériles calibre 21 en frascos Vacutainer® de tapa roja de 10 mL; estas muestras se transportaron en refrigeración al Laboratorio de Ecotoxicología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, donde se congelaron y almacenaron para su posterior análisis (Clesceri *et. al.*, 1999).

Se registraron por triplicado parámetros fisicoquímicos *in situ* como son: el pH, la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), la conductividad específica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) y el porcentaje de saturación de oxígeno, con ayuda una sonda multiparámetros YSI 85.

6.2 Laboratorio

Para el análisis de fosfatos totales (PO_4) se utilizó el método de ácido ascórbico estandarizado por el Kit Hach 2742545 SM 4500 P-E. Para la determinación de la concentración de nitritos (NH_2) presentes se utilizó el método de Diazotación, que es un método colorimétrico que se basa en la diazotación de la sulfanilamida y la posterior unión de un catión diazonio (formado en la reacción anterior) con diclorato de NED, lo que forma un compuesto azoico de color púrpura que puede ser cuantificado en un espectrofotómetro. Para la evaluación de amonio total (NH_4) se siguió el método de azul de Indofenol, en el cual se hacen reaccionar a los iones de amonio con fenol e hipoclorito de sodio lo que forma el compuesto azul de indofenol que se puede valorar espectrofotométricamente a 640 nm. (Vánegas-Pérez *et al.*, 2008). Los últimos dos procedimientos están adaptados para microplaca por el M. en C. Sebastián Ricardo Zuñiga Lagunes.

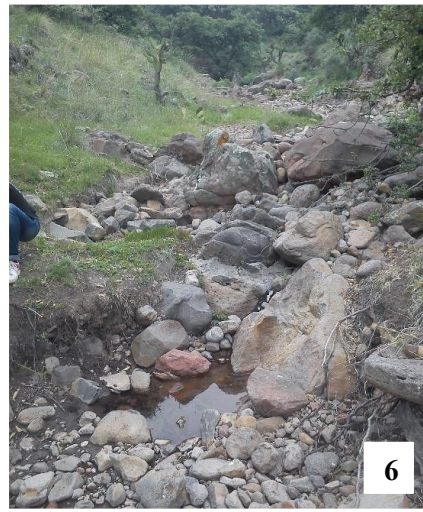


Figura 7. Puntos de muestreo en el parque estatal “Sierra de Tepotzotlán”. (1,6) Puntos Cima, (2,5) Puntos Trayecto, (3) Punto cruce, (4) Punto Término.

Los ciliados se observaron con microscopios de campo claro, contraste de fases y contraste diferencial de Interferencia (DIC), además se realizó un registro microfotográfico y morfométrico de los organismos.

Se elaboraron infusiones de cebada, arroz y paja, con el objetivo de mantener a los ciliados (Aladro-Lubel, 2009).

Para resaltar los caracteres citológicos diagnósticos de los ciliados y realizar una determinación a nivel de especie, se aplicaron técnicas micrográficas como hematoxilina de Harris, argéntica de Klein, NMF y carbonato de plata amoniacal, de acuerdo a los protocolos propuestos por Foissner (2014) y Aladro-Lubel (2009). Todas las preparaciones permanentes fueron depositadas en la colección del Laboratorio de Protozoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Se realizaron esquemas digitales de los organismos, a partir de las fotografías tomadas y las observaciones, esto con ayuda de los programas Adobe Illustrator® y Adobe Photoshop® versiones CS5.

Para comparar la composición de especies entre cada sitio, se aplicó el índice de similitud de Bray-Curtis (Beals, 1984) que es un índice con valores de 0 a 100%. A partir de una matriz de presencia-ausencia de cada sitio se obtuvieron dendogramas por el método de agrupamiento de pares con la media aritmética no ponderada conocido por sus siglas en inglés como UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*, Gronau & Moran, 2007). Para evaluar la significancia de las asociaciones formadas en los dendogramas, se utilizó la prueba SIMPROF (siglas en inglés *Similarity Profile Analysis*), la cual realiza una serie de permutaciones a cada nodo de un dendograma para identificar patrones de asociación significativos en muestras *a priori* no estructuradas (Clarke *et al.*, 2008; Corgos *et al.*, 2014), con el software estadístico PRIMER 7.0.10. Los sitios de la segunda temporada fueron catalogados con el mismo número de la primera temporada, pero seguidos de comillas, para poder diferenciarlos en las matrices y dendogramas que se obtuvieron.

Se comparó la composición de especies de cada sitio en las dos temporadas y de manera global entre los seis sitios de muestreo en las dos temporadas.

Para analizar si existió relación entre los parámetros fisicoquímicos y las especies se utilizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) en el software Minitab® 17.1.0.

A partir de una matriz de datos se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, para evidenciar las diferencias (si estas existiesen) entre las medias de tres o más grupos de datos, para esto se utilizó el sitio donde fueron registrados como variable de agrupación y se usó un alfa de 0.05, con el software SPSS 23 (Gómez-Gómez *et al.*, 2003).

Para inferir el grado de saprobiedad del sistema se consideró la catalogación de especies de Foissner & Berger (1996), e igualmente se calculó el valor de contaminación de la comunidad (*Community Pollution Value*) con base en el valor de contaminación específico (*Species Pollution Value*) propuestos por Jian & Shen, 2005.

VII. RESULTADOS

Se identificaron 18 especies de ciliados, que de acuerdo a la clasificación de Lynn (2008), están incluidas en dos subphyla, cinco clases, 13 familias y 16 géneros. Para la determinación específica se consultó entre otros a Foissner *et al.* (1991, 1992, 1994, 1995), Foissner & Berger (1996) y Berger (1999).

Phylum Ciliophora Doflein, 1901

Subphylum Postciliodesmatophora Gerassimova & Seravin, 1976

Clase Heterotrichea Stein, 1859

Orden Heterotrichida Stein, 1859

Familia Spirostomidae Stein, 1867

***Spirostomum* sp.**

Familia Stentoridae Carus, 1863

Stentor coeruleus (Pallas, 1766) Ehrenberg, 1831

***Stentor* sp.**

Familia Blepharismidae Jankowski en Small & Lynn 1985

Blepharisma sinuosum Sawaya, 1940

Subphylum Intramacronucleata Lynn, 1996

Clase Spirotrichea Bütschli, 1889

Subclase Hypotrichia Stein, 1859

Orden Euplotida Small & Lynn, 1985

Suborden Euplotina Small & Lynn, 1985

Familia Aspidiscidae Ehrenberg, 1830

***Aspidisca* sp.**

Familia Euplotidae Ehrenberg, 1838

Euplotoides eurytomus (Wrzesniowski, 1870) Borror & Hill, 1985

Euplotoides octocarinatus (Carter, 1972) Borror & Hill, 1985

Subclase Stichotrichia Small & Lynn, 1985

Orden Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961

Familia Oxytrichidae Ehrenberg, 1830

***Oxytricha* sp.**

Clase Prostomatea Schewiakoff, 1896

Orden Prorodontida Corliss, 1974

Familia Colepidae Ehrenberg, 1838

Coleps hirtus (Mueller, 1786) Nitzsch, 1827

Clase Oligohymenophorea de Puytorac, Batisse, Bohatier, Corliss, Deroux, Didier, Dragesco, Fryd-Versavel, Grain, Grolière, Hovasse, Iftode, Laval, Roque, Savoie & Tuffrau, 1974

Subclase Peniculia Fauré-Fremiet en Corliss 1956

Orden Peniculida Fauré-Fremiet en Corliss 1956

Familia Parameciidae Dujardin, 1840

Paramecium aurelia (Sonneborn, 1975)

Aufderheide, Daggett & Nerat, 1983

Familia Urocentridae Claparède & Lachmann, 1858

Urocentrum turbo (Mueller, 1786) Nitzsch, 1827

Subclase Scuticociliatia Small, 1967

Orden Pleuronematida Fauré-Fremiet en Corliss, 1956

Familia Cyclidiidae Ehrenberg, 1838

***Cyclidium* sp.**

Orden Philasterida Small, 1967

Familia Uronematidae Thompson, 1964

***Uronema* sp.**

Familia Cinetochilidae Perty, 1852

Cinetochilum margaritaceum (Ehrenberg, 1831) Perty, 1849

Subclase Hymenostomatia Delâge & Hérouard, 1896

Orden Tetrahymenida Fauré-Fremiet en Corliss 1956

Familia Glaucomidae Corliss, 1971

Glaucoma scintillans Ehrenberg, 1830

Subclase Peritrichia Stein, 1859

Orden Sessilida Kahl, 1933

Familia Vorticellidae Ehrenberg, 1838

Vorticella campanula Ehrenberg, 1831

***Carchesium* sp.**

Clase Nassophorea Small & Lynn, 1981

Orden Microthoracida Jankowski, 1967

Familia Microthoracidae Wrzesniowski, 1870

Microthorax pusillus Engelmann, 1862

7.1 Consideraciones citológicas

Para cada especie se presentan los caracteres observados. La tabla 1 contiene su información morfométrica.

Familia Spirostomidae Stein, 1867

Spirostomum sp. (Fig. 8)

Ciliados vermiformes ligeramente aplanados, con una longitud de 171 a 586 μm . Tienen una zona adoral de membranelas muy evidente y un campo peristomal largo, que se extiende desde el extremo anterior hasta el citostoma con una longitud de 43 a 388 μm . Tienen de 10-50 cinetias somáticas que corren paralelas al eje antero-posterior del cuerpo, y se observan espiraladas cuando los organismos se contraen. Con una sola vacuola contráctil ubicada en la parte posterior de la célula. En los individuos de esta población se pudo observar un macronúcleo elipsoidal con una longitud de 28-39 μm y 10-18 μm de ancho.

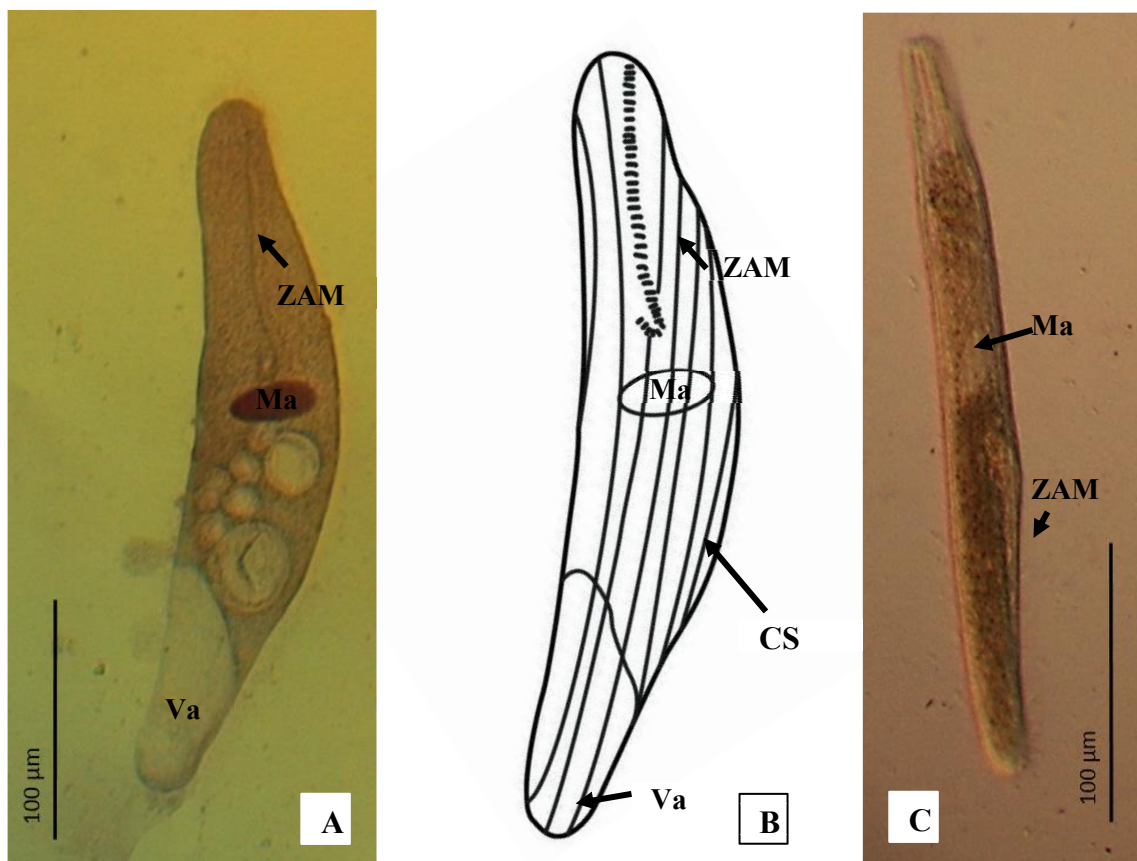


Figura 8. *Spirostomum* sp. A Técnica de Hematoxilina de Harris, B Morfología general, C Individuo en vivo. Abreviaturas: Cinetias somáticas (CS), Macronúcleo (Ma), Vacuola contráctil (Va), Zona Adoral de Membranelas (ZAM).

Familia Stentoridae Carus, 1863

Stentor coeruleus (Pallas, 1766) Ehrenberg, 1831 (**Fig. 9**)

Heterotrico con forma de trompeta o de embudo y de forma globular cuando se contrae. El campo peristomático se ubica en la región anterior y está rodeado por una zona adoral de membranelas que forman un círculo casi cerrado y que baja en forma de espiral hacia el citostoma. La ciliatura oral se compone de 20 a 30 cinetias y la ciliatura somática de 55 a 100 cinetias longitudinales. El macronúcleo es alargado de tipo moniliforme con 6-20 cuerpos nucleares.

Con una vacuola contráctil en la parte anterior debajo de la zona oral y presenta un canal colector que llega hasta la región posterior de la célula. Con coloración azul turquesa. La longitud máxima fue de 2974.1 μm y la longitud promedio fue de 921.5 μm .

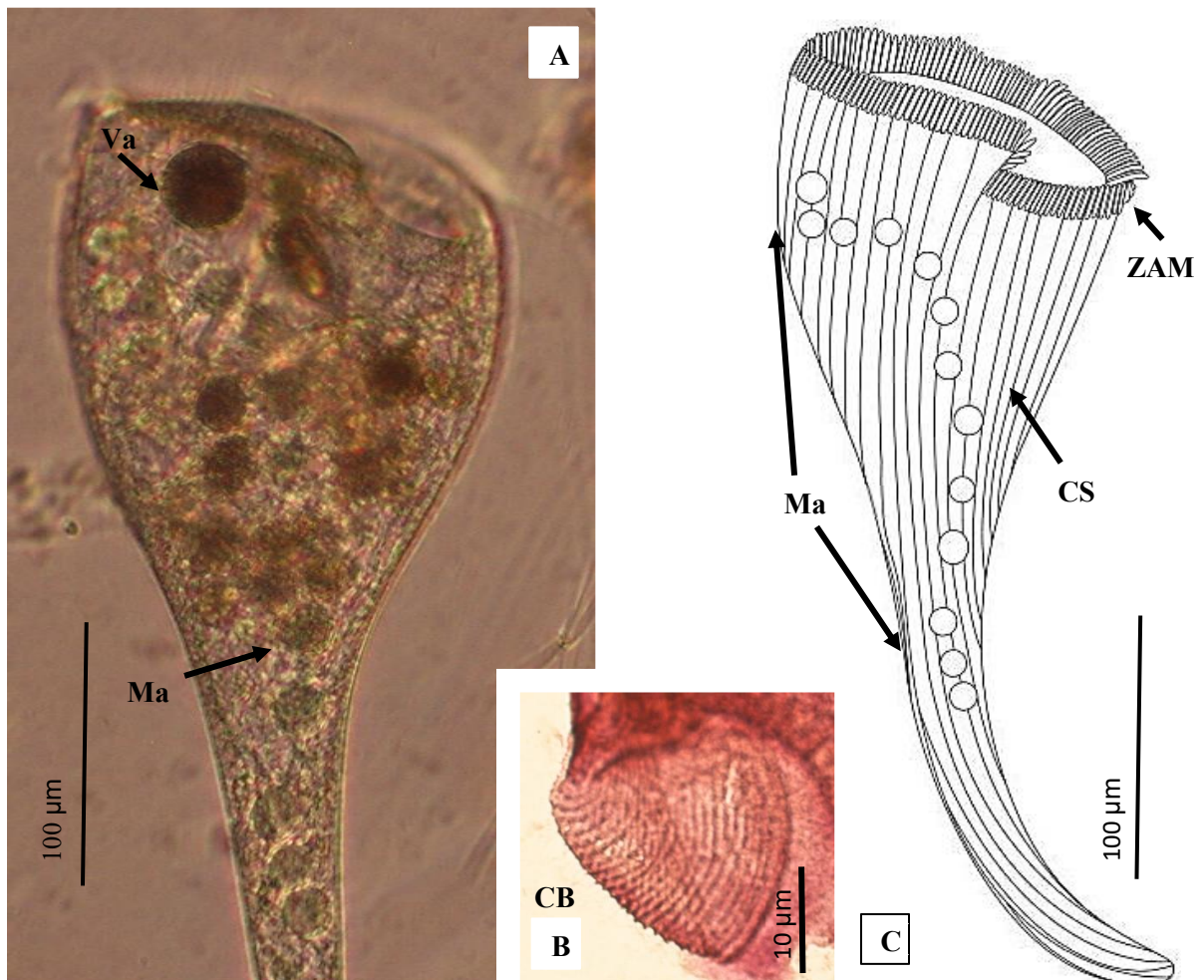


Figura 9. *Stentor coeruleus*. A Detalle de los macronúcleos, B Detalle de la ciliatura bucal, C Morfología general. Abreviaturas: Cinetias bucales (CB), Cinetias somáticas (CS), Macronúcleo (Ma), Vacuola contráctil (Va), Zona Adoral de Membranelas (ZAM).

***Stentor* sp. (Fig. 10)**

Organismos con forma de trompeta de 286 a 711 μm de largo. El peristoma se encuentra en el tercio anterior de la célula. El endoplasma es opaco. Cuando se extienden completamente se pueden observar algunas vacuolas alimenticias en la zona posterior. Tienen una vacuola contráctil situada a la izquierda de la citofaringe cerca del extremo anterior de la célula. Un macronúcleo alargado o moniliforme, presentan alrededor de 50 cinetias somáticas.

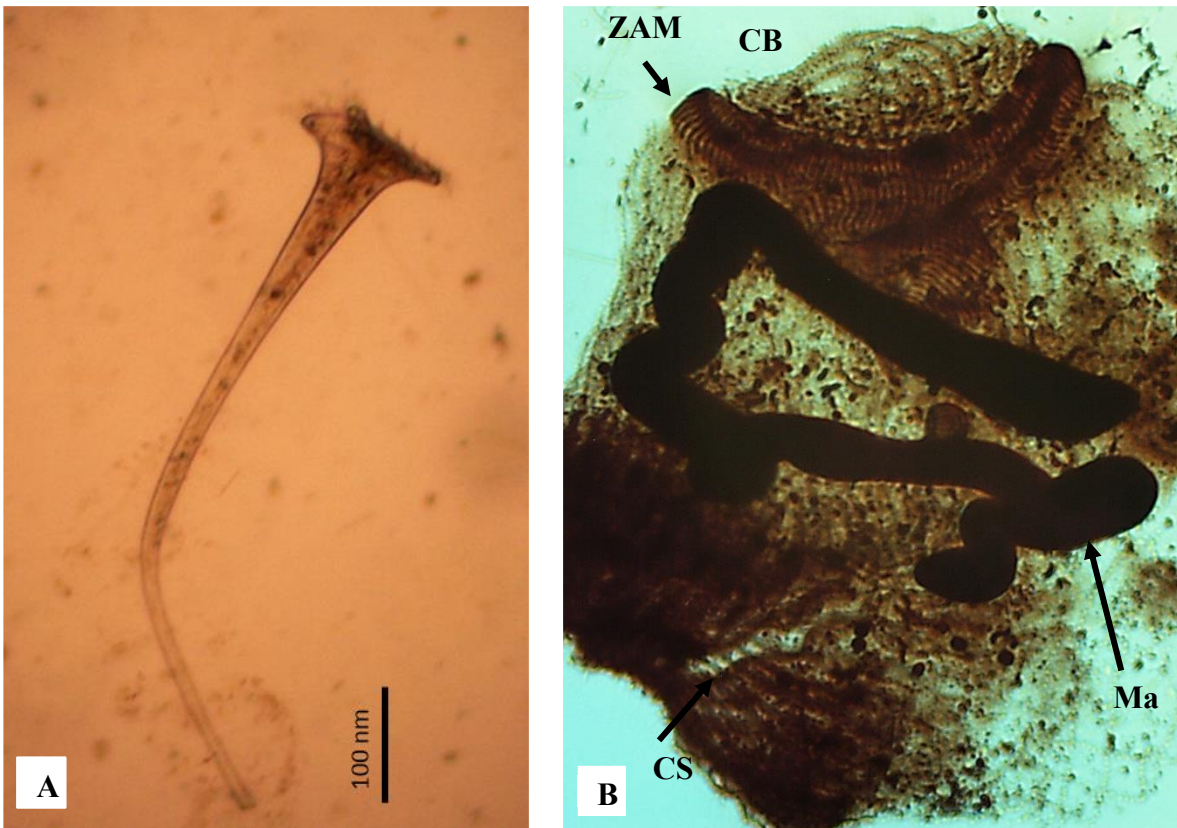


Figura 10. *Stentor* sp. A Individuo en vivo, B Técnica de carbonato de plata. Abreviaturas: Cinetias bucales (CB), Cinetias somáticas (CS), Macronúcleo (Ma), Zona Adoral de Membranelas (ZAM).

***Blepharisma sinuosum* Sawaya, 1940 (Fig. 11)**

Con macronúcleo moniliforme compuesto de 4-6 nódulos, con una longitud de 14-17 μm y un ancho de 7-10.5 μm . En vivo las células miden 118-202 μm de largo y 23-35 μm de ancho, su película es flexible y presenta numerosos gránulos corticales de color rosa.

El peristoma es largo y estrecho, inicia un poco por debajo del extremo anterior y se extiende hasta la parte media del cuerpo, ocupando en promedio el 49% de la longitud celular. Con 30-100 membranelas, una membrana paroral y una vacuola contráctil en el extremo posterior. Con 21 cinetias somáticas en promedio.

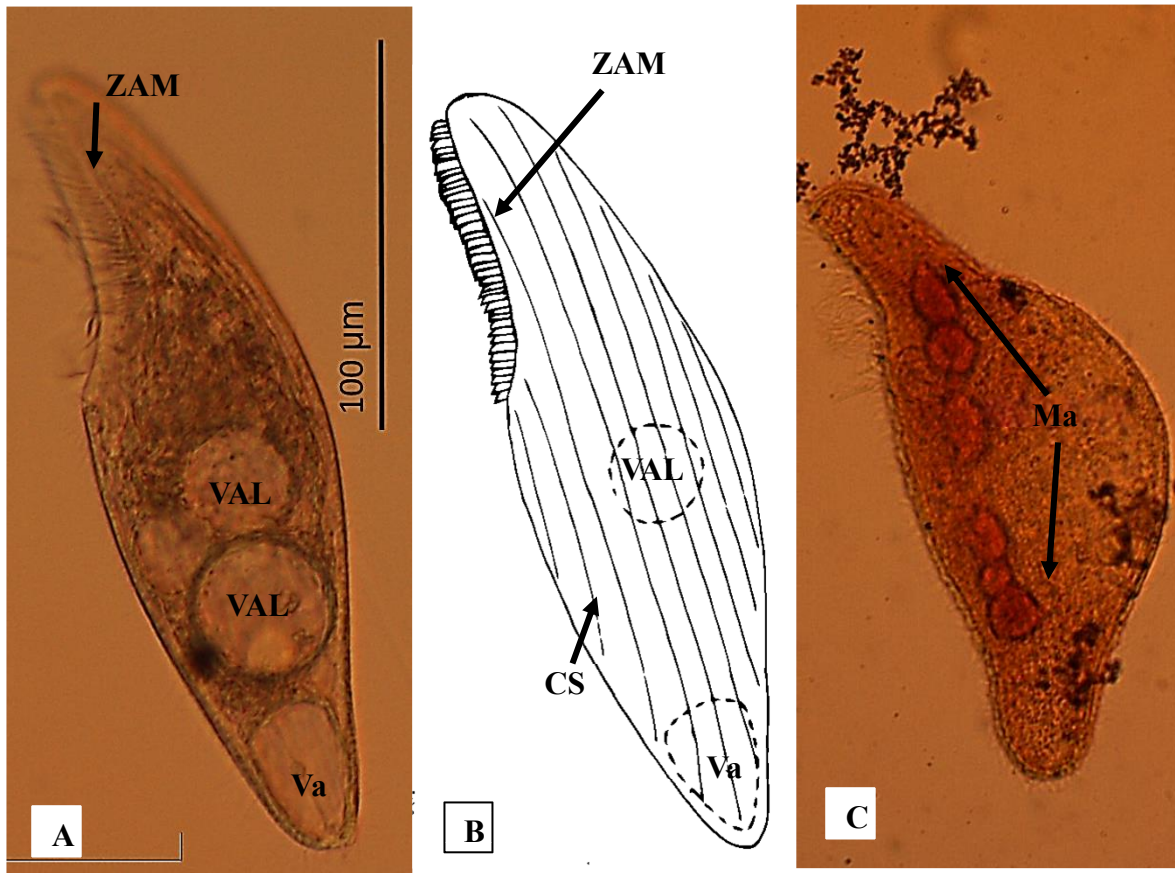


Figura 11. *Blepharisma sinuosum*. A Individuo en vivo, B Morfología general, C Técnica de carbonato de plata. Abreviaturas: Cinetias somáticas (CS), Macronúcleo (Ma), Vacuola contráctil (Va), Vacuola alimenticia (VAL), Zona Adoral de Membranelas (ZAM).

Familia *Aspidiscidae* Ehrenberg, 1830

Aspidisca sp. (Fig. 12)

Hipotricos de forma ovoide con una longitud de 24 a 28 μm. La región dorsal de las células suele ser convexa y rígida mientras que la región ventral es aplanada. En la parte posterior presenta bordes dentados. La zona adoral de membranelas está dividida en dos secciones.

Las especies del género poseen entre siete y ocho cirros frontoventrales y cinco a doce cirros transversales. El macronúcleo tiene forma de herradura.

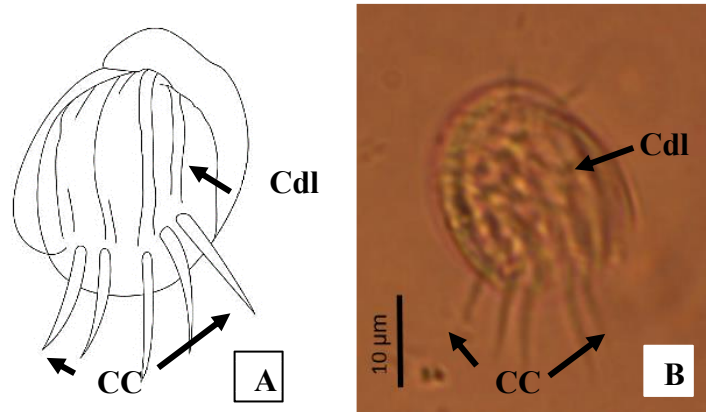


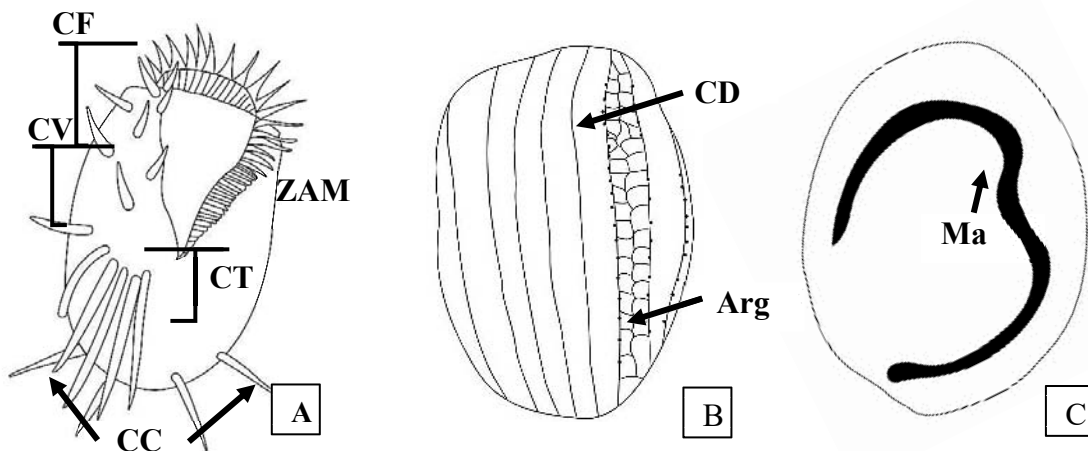
Figura 12. *Aspidisca* sp. A Morfología general, B Individuo en vivo. Abreviaturas: Cirros caudales (CC), Costillas dorsales (Cdl).

Familia Euplotidae Ehrenberg, 1838

Euplotoides eurystomus (Wrzesniowski, 1870) Borror & Hill, 1985 (Fig. 13)

Hipotrico ovoide de 106-129 µm de largo y 58-84 µm de ancho. La abertura bucal tiene forma triangular.

La zona adoral de membranelas tiene forma sigmoide y contiene 50-65 membranelas. Con seis cirros frontoventrales, tres ventrales, cinco transversales y cuatro cirros caudales. El patrón del argiroma dorsal es del tipo doble eurystomus con 10 cinetias dorsolaterales que contienen 17-25 cilios. El macronúcleo tiene forma de “3” con una muesca cóncava en la parte anterior donde se aloja el micronúcleo.



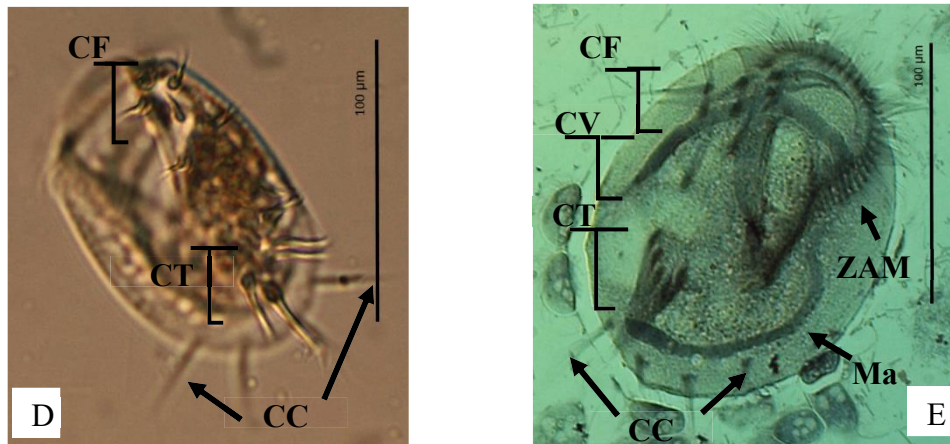
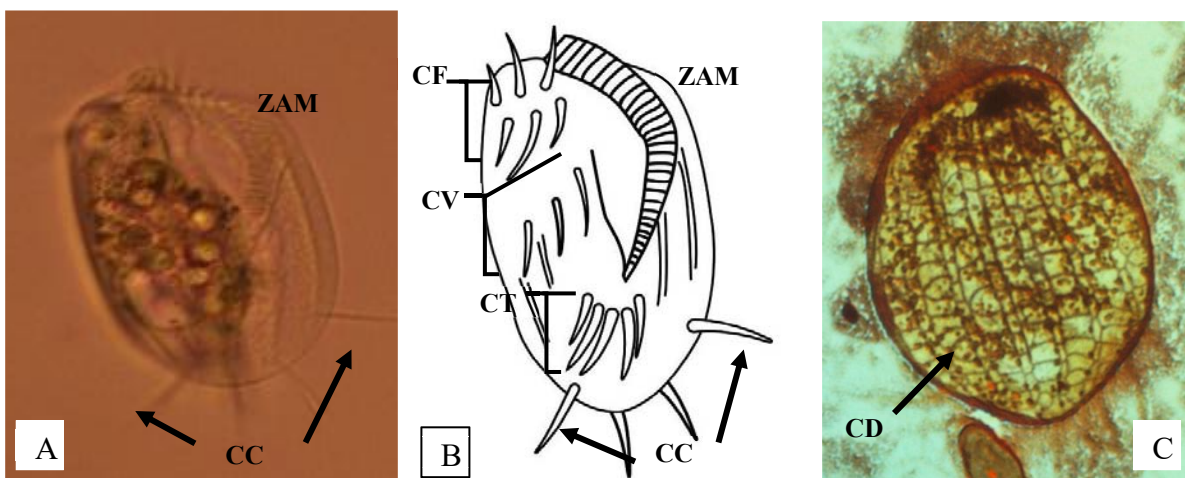


Figura 13. *Euplotoides eury stomus*. A Morfología general, B Detalle del argiroma y cinetias dorsales, C Forma del macronúcleo, D Individuo en vivo, E Técnica de hematoxilina de Harris. Abreviaturas: Argiroma (Arg), Cinetias dorsales (CD), Cirros caudales (CC), Cirros frontales (CF), Cirros transversales (CT), Cirros ventrales (CV), Macronúcleo (Ma), Zona Adoral de Membranelas (ZAM).

Euplotoides octocar inatus (Carter, 1972) Borrer & Hill, 1985 (**Fig. 14**)

Hipotrico elipsoide con una longitud de 70-87 µm y un ancho de 59-66 µm. El peristoma es de forma triangular y se extiende hasta la mitad de la longitud del cuerpo. La zona adoral de membranelas es estrecha a medida que emerge desde la parte anterior y luego se ensancha hacia la parte media del cuerpo y contiene alrededor de 36 a 42 membranelas. La superficie dorsal es convexa. El argiroma dorsal es del tipo de doble patella con ocho cinetias dorsolaterales que contienen 18-21 cilios. Tienen seis cirros frontoventrales, tres ventrales, cinco transversales y



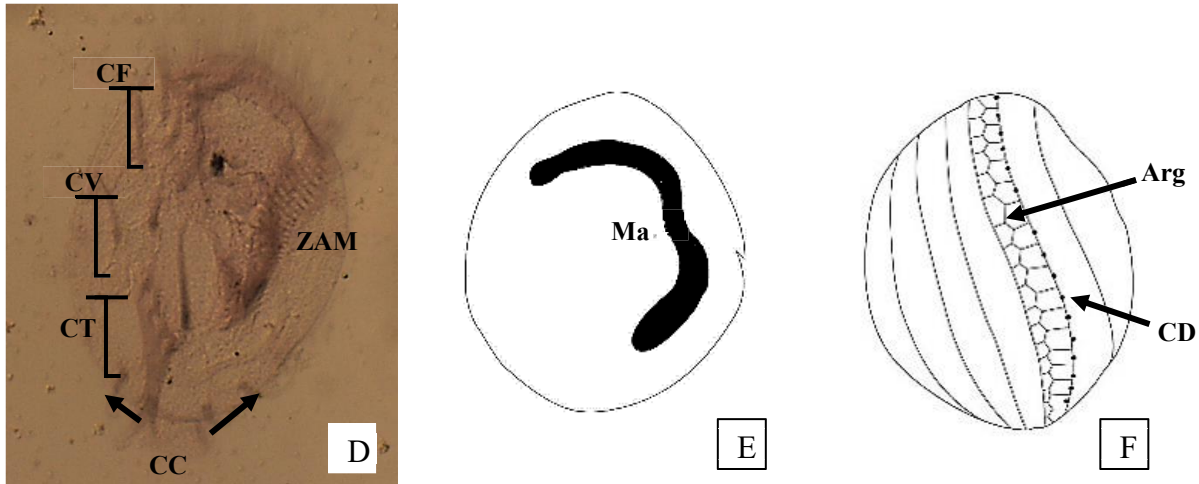


Figura 14. *Euplotoides octocarinatus*. A Individuo en vivo, B Morfología general, C Técnica de nitrato de plata, D Técnica de Hematoxilina de Harris, E Morfología general, F Técnica de Hematoxilina de Harris, G Forma del macronúcleo, H Detalle del argioma y cinetias dorsales. Abreviaturas: Argioma (Arg), Cinetias dorsales (CD) Cirros caudales (CC), Cirros frontales (CF), Cirros transversales (CT), Cirros ventrales (CV), Macronúcleo (Ma), Zona Adoral de Membranelas (ZAM).

cuatro cirros caudales. El macronúcleo tiene forma de “C” y con un pequeño micronúcleo adyacente.

Familia Oxytrichidae Ehrenberg, 1830

Oxytricha sp. (Fig. 15)

Son organismos ovalados y rígidos. Su patrón de cirros consta de tres ventrales y cuatro frontoventrales dispuestos en forma de V, un cirro bucal a un costado de la membrana ondulante, y agrupados debajo del borde de la apertura bucal se encuentran cinco cirros ventrales.

Con dos cirros pretransversales y cinco cirros transversales. Tienen dos cirros caudales y dos macronúcleos ovalados, presentan una vacuola contráctil en la parte media de la célula. Se puede observar una hilera de cirros marginales a cada costado de la célula y cinco o seis hileras de cirros dorsales, raramente cuatro. Su longitud fue de 56 y 85 μm .

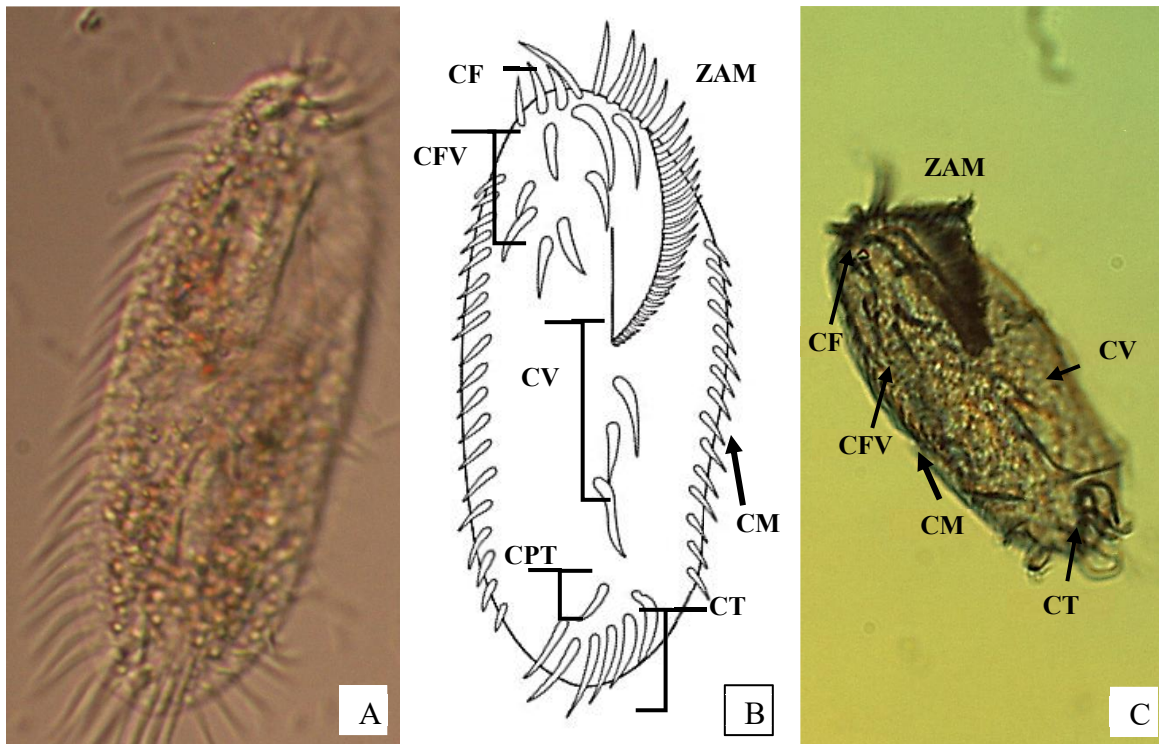


Figura 15. *Oxytricha* sp. A Individuo en vivo, B Morfología general, C Técnica de NMF. Abreviaturas: Cirros frontales (CF), Cirros frontoventrales (CFV), Cirros marginales (CM), Cirros pretransversales (CPT), Cirros transversales (CT), Cirros ventrales (CV), Macronúcleo (Ma), Zona Adoral de Membranelas (ZAM).

Familia Colepidae Ehrenberg, 1838

Coleps hirtus (Mueller, 1786) Nitzsch, 1827 (Fig. 16)

Colépedo en forma de barril, la longitud fue de 35-42 μm y el ancho de 11-24 μm . Con una armadura calcificada compuesta por varias hileras de placas cada una con dos fenestraciones. Tienen dos hileras de placas circumorales, dos hileras de placas secundarias anteriores, cuatro hileras de placas primarias anteriores, cuatro hileras de placas primarias posteriores y dos hileras de placas posteriores secundarias. Presentan un cilio caudal, un macronúcleo, y tres espinas anteriores.

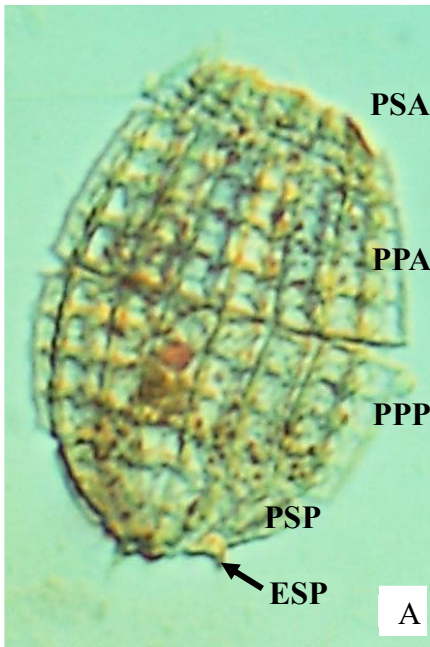


Figura 16. *Coleps hirtus*. A Técnica de nitrato de plata. Abreviaturas: Espinass posteriores (ESP), Placas secundarias anteriores (PSA), Placas primarias anteriores (PPA), Placas primarias posteriores (PPP), Placas secundarias posteriores (PSP).

Familia Parameciidae Dujardin, 1840

Paramecium aurelia (Sonneborn, 1975) Aufderheide, Daggett & Nerat, 1983 (**Fig. 17**)

Peniculínidos fusiformes, con el extremo anterior más angosto que el posterior; ambos extremos son romos. Estos organismos miden de 94-123 μm de longitud y 28-57 μm de ancho.

Con tricocistos evidentes debajo de la película; la ciliatura somática se compone de 90 a 100 cinetias paralelas al eje longitudinal de la célula.

La región bucal se compone de una cavidad que comienza en la región anterior y llega hasta el citostoma aproximadamente en la región media de la célula. Con un macronúcleo de forma elipsoidal que mide 32-45 μm y dos micronúcleos esféricos adyacentes, uno a cada costado. Presenta dos vacuolas contráctiles con 7-9 canales colectores, ubicadas una en la región anterior y otra en la posterior.

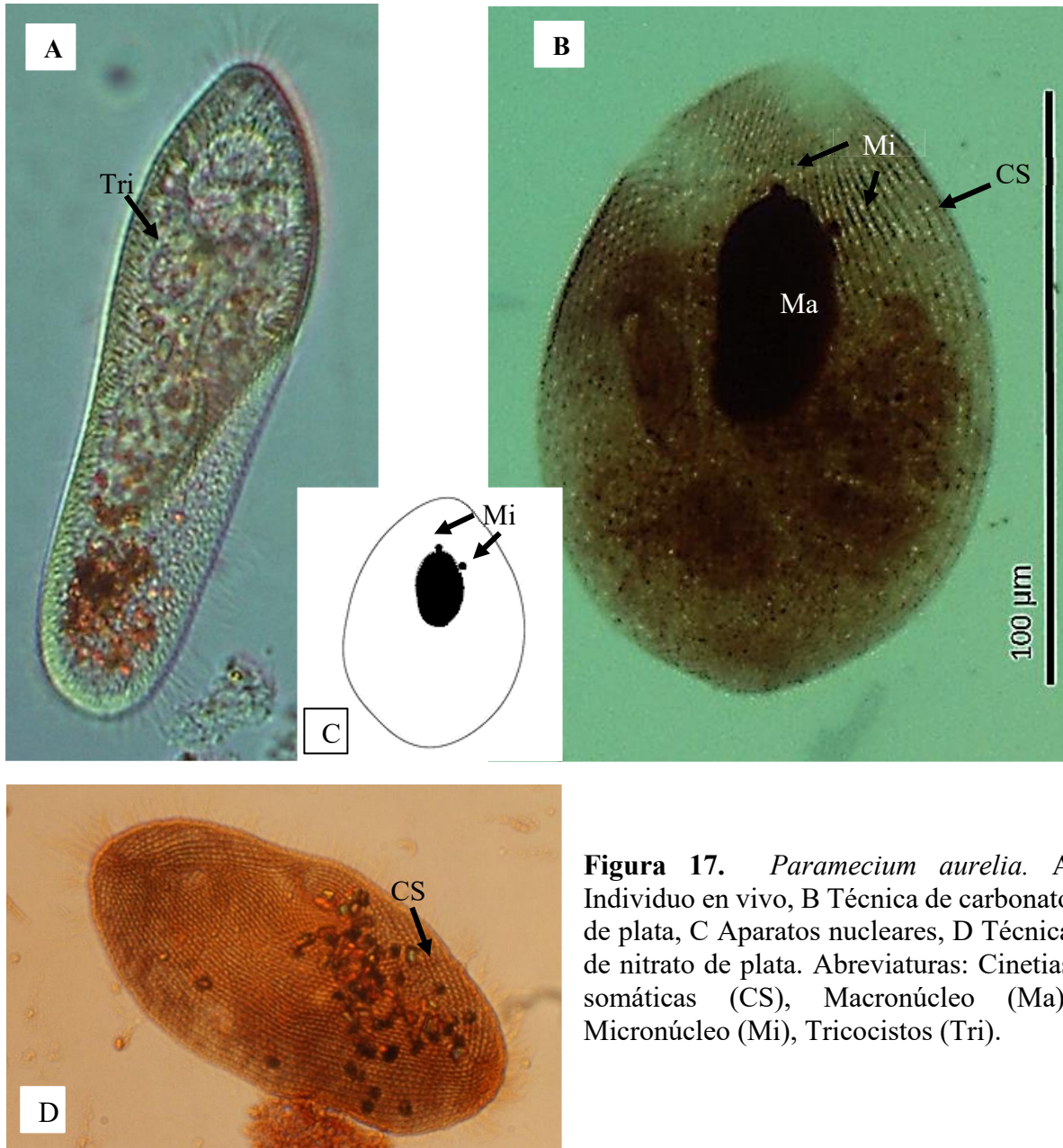


Figura 17. *Paramecium aurelia*. A Individuo en vivo, B Técnica de carbonato de plata, C Aparatos nucleares, D Técnica de nitrato de plata. Abreviaturas: Cinetias somáticas (CS), Macronúcleo (Ma), Micronúcleo (Mi), Tricocistos (Tri).

Familia Urocentridae Claparède & Lachmann, 1858

Urocentrum turbo (Mueller, 1786) Nitzsch, 1827 (**Fig. 18**)

De forma cilíndrica, con una constricción media. El macronúcleo en forma de herradura situado en el tercio posterior de la célula. Con 140-145 cinetias que forman dos bandas que rodean la célula. La banda anterior ocupa el tercio medio de la célula y es interrumpida por la abertura oral. Se pueden distinguir dos áreas transversales, la más anterior es llamada fascia y la posterior cingulo, cada una de las cinetias de la fascia contiene 19 cinetosomas. Tienen una vacuola contráctil

terminal, extrusomas del tipo tricocistos y un cilio caudal muy evidente. Los organismos tienen una longitud de 57-71 μm .

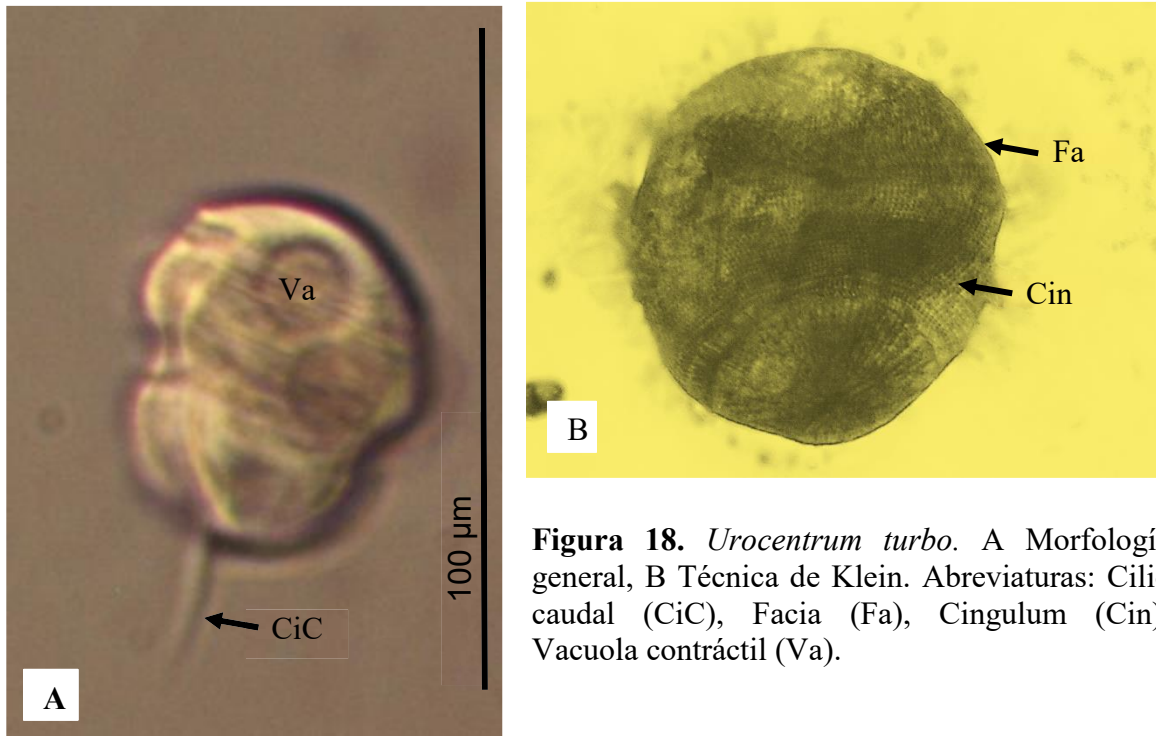


Figura 18. *Urocentrum turbo*. A Morfología general, B Técnica de Klein. Abreviaturas: Cilio caudal (CiC), Facia (Fa), Cingulum (Cin), Vacuola contráctil (Va).

Familia Cyclidiidae Ehrenberg, 1838

***Cyclidium* sp. (Fig. 19)**

Células ovaladas, en la región anterior se distingue una protuberancia pequeña sin cilios y la posterior con borde redondeado. Mide de 10.7-11 μm de longitud y de 5.1-5.7 μm de ancho. La ciliatura somática está compuesta por 10 cinetias longitudinales. Presentan un cilio caudal, el macronúcleo es ovoide y se ubica en la parte media de la célula, tienen una vacuola contráctil terminal en la región posterior. El citostoma se encuentra en la región media del cuerpo flanqueado por una membrana paroral que se ubica del lado izquierdo de la célula. Su locomoción es mediante saltos cortos y cuando se detiene los cilios quedan extendidos.

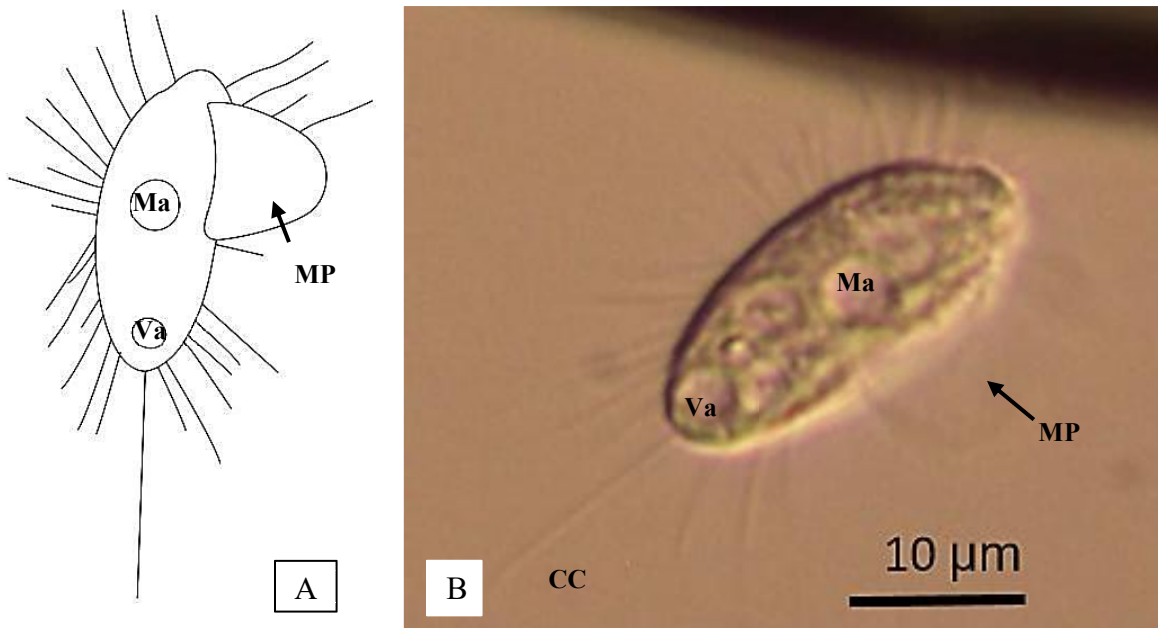


Figura 19. *Cyclidium* sp. A Morfología general, B Individuo en vivo. Abreviaturas: Cilio Caudal (CC), Membrana paroral (MP), Macronúcleo (Ma), Vacuola contráctil (Va).

Familia Uronematidae Thompson, 1964

***Uronema* sp. (Fig. 20)**

Células ovoides con los extremos posterior y anterior redondeados. El área del citostoma está ligeramente aplanada. Con doce cinetias somáticas, que se encuentran más o menos uniformemente espaciadas, con excepción de las número 1 y 12 que se curvan alrededor de la cavidad oral. Tienen una membrana ondulante a lo largo del margen derecho de la cavidad bucal. Presentan un cilio caudal.



Figura 20. *Uronema* sp. A Técnica de nitrato de plata. Abreviaturas: Cinetias somáticas (CS).

Familia Cinetochilidae Perty, 1852

Cinetochilum margaritaceum (Ehrenberg, 1831) Perty, 1849 (**Fig. 21**)

Tamaño en vivo de 16-18 μm de largo. Células ovaladas dorsoventralmente aplanadas. La película es rígida y el citoplasma transparente. El aparato oral presenta un patrón tipo *Tetrahymena*, compuesto de tres membranelas de forma oblicua (M1-3) dispuestas transversalmente.

Tienen de 19-22 cinetias somáticas. La cavidad oral es elíptica y se posiciona en la parte media de la célula ligeramente desviada del ecuador.

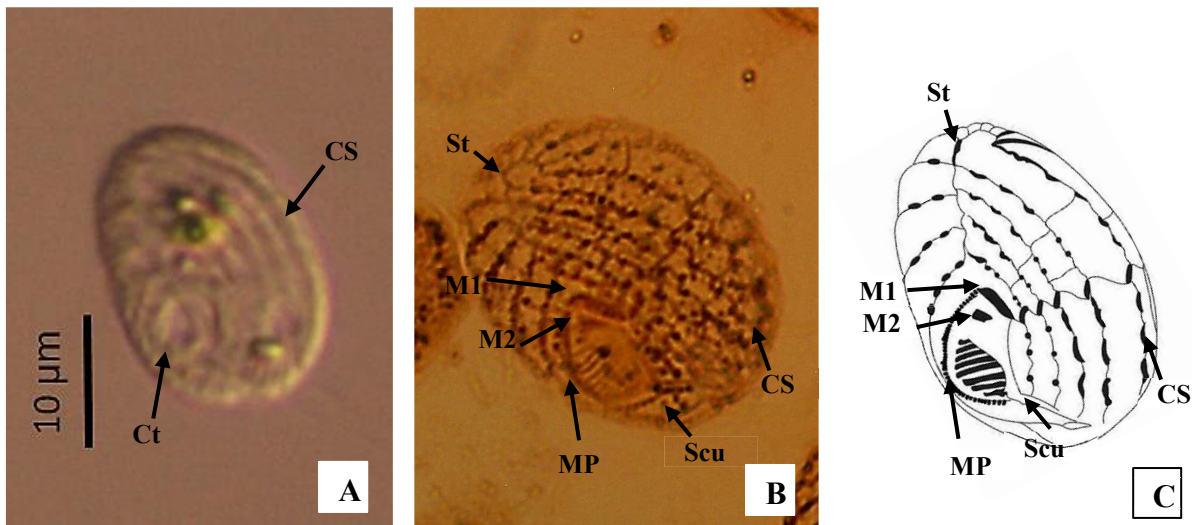


Figura 21. *Cinetochilum margaritaceum*. A Individuo en vivo, B Técnica de nitrato de plata, C Morfología general. Abreviaturas: Cinetias somáticas (CS), Citostoma (Ct), Membranela 1 (M1), Membranela 2 (M2), Membrana paroral (MP), Scutica (Scu), Sutura (St).

Familia Glaucoidae Corliss, 1971

Glaucoma scintillans Ehrenberg, 1830 (**Fig. 22**)

El tamaño de la célula es 28-58 μm de largo y 18-31 μm de ancho en vivo. La forma de la célula es elipsoidal. El aparato nuclear con un macronúcleo y un micronúcleo globulares que se encuentran cerca del centro de la célula.

Presentan una vacuola contráctil cerca del tercio posterior. Tienen 30-40 cinetias somáticas, ocho son por lo general postorales. Los cilios se dispersan ligeramente en la zona del poro excretor de la vacuola contráctil.

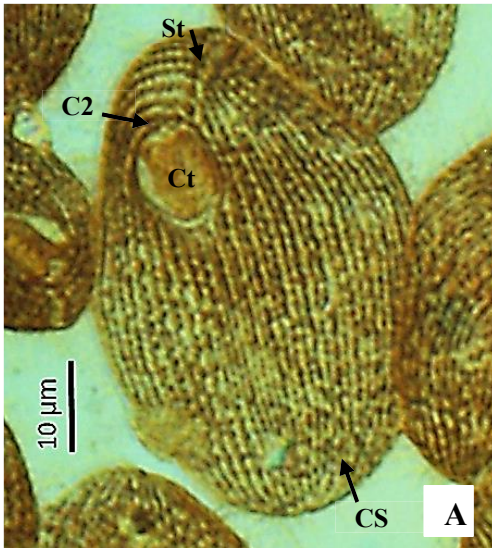


Figura 22. *Glaucoma scintillans*, A Técnica de nitrato de plata. Abreviaturas: Cinetia 2 (C2), Cinetias somáticas (CS), Citostoma (Ct), Sutura (St).

Familia Vorticellidae Ehrenberg, 1838

Vorticella campanula Ehrenberg, 1838 (Fig. 23)

Zooides de 56-71 µm de largo y 87-99 µm de ancho. El zooide tiene forma de campana invertida constreñida por debajo del labio peristomal, el peristoma mide de 92-100 µm de ancho. El infundíbulo es amplio, con una vacuola contráctil situada en el tercio oral del zooide. El macronúcleo en forma de “J” se sitúa longitudinalmente en la célula. El citoplasma contiene gránulos refringentes, la película se encuentra estriada finamente; el pedúnculo mide hasta 500 µm de largo.

***Carchesium* sp.** (Fig. 24)

Las colonias con zooides en forma de campana, el mionema contráctil presenta discontinuidades después de cada dicotomía y se une al sustrato mediante un disco de fijación. Los zooides en vivo miden 76.9 a 11.6 µm de longitud y 46 a 112 µm de ancho. El citoplasma con una vacuola contráctil que se encuentra en el tercio aboral del cuerpo.

El macronúcleo tiene forma de “J” y ocupa una parte significativa del volumen del cuerpo. La ciliatura oral está constituida por dos filas escalonadas de cilios que rodean a la apertura bucal.

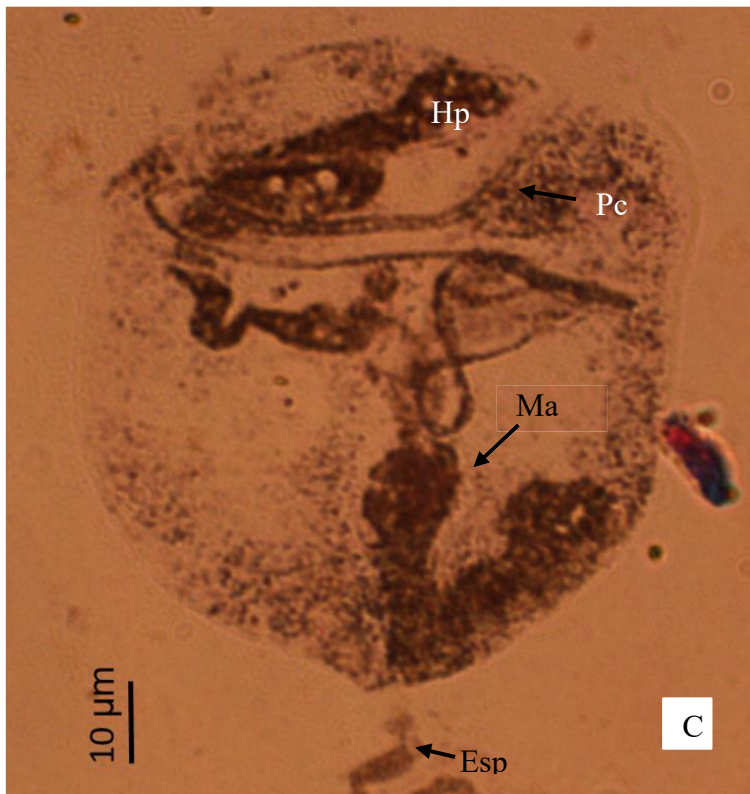
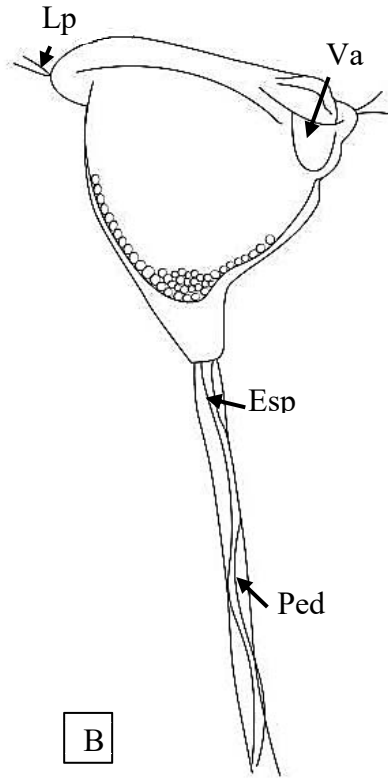


Figura 23. *Vorticella campanula*. A Individuo en vivo, B Morfología general, C Técnica de carbonato de plata. Abreviaturas: Espasmonema (Esp), Haplocinetia (Hp), Labio peristomal (Lp), Macronúcleo (Ma), Pedúnculo (Ped), Policinetia (Pc), Vacuola contráctil (Va).

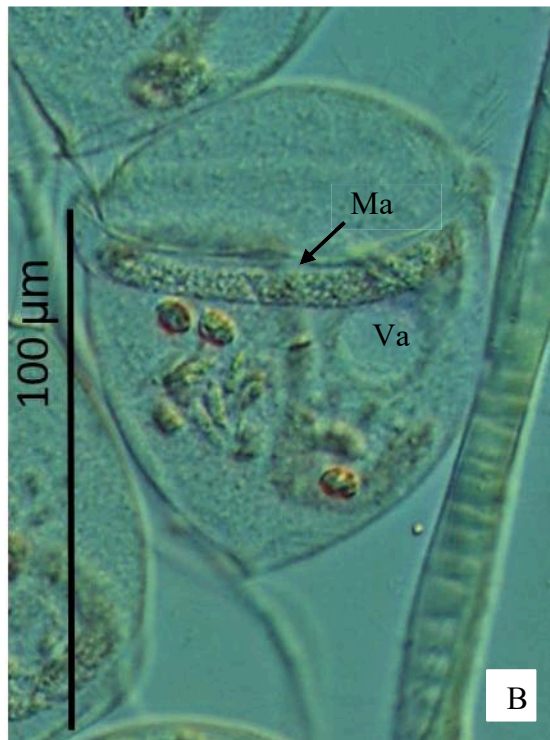
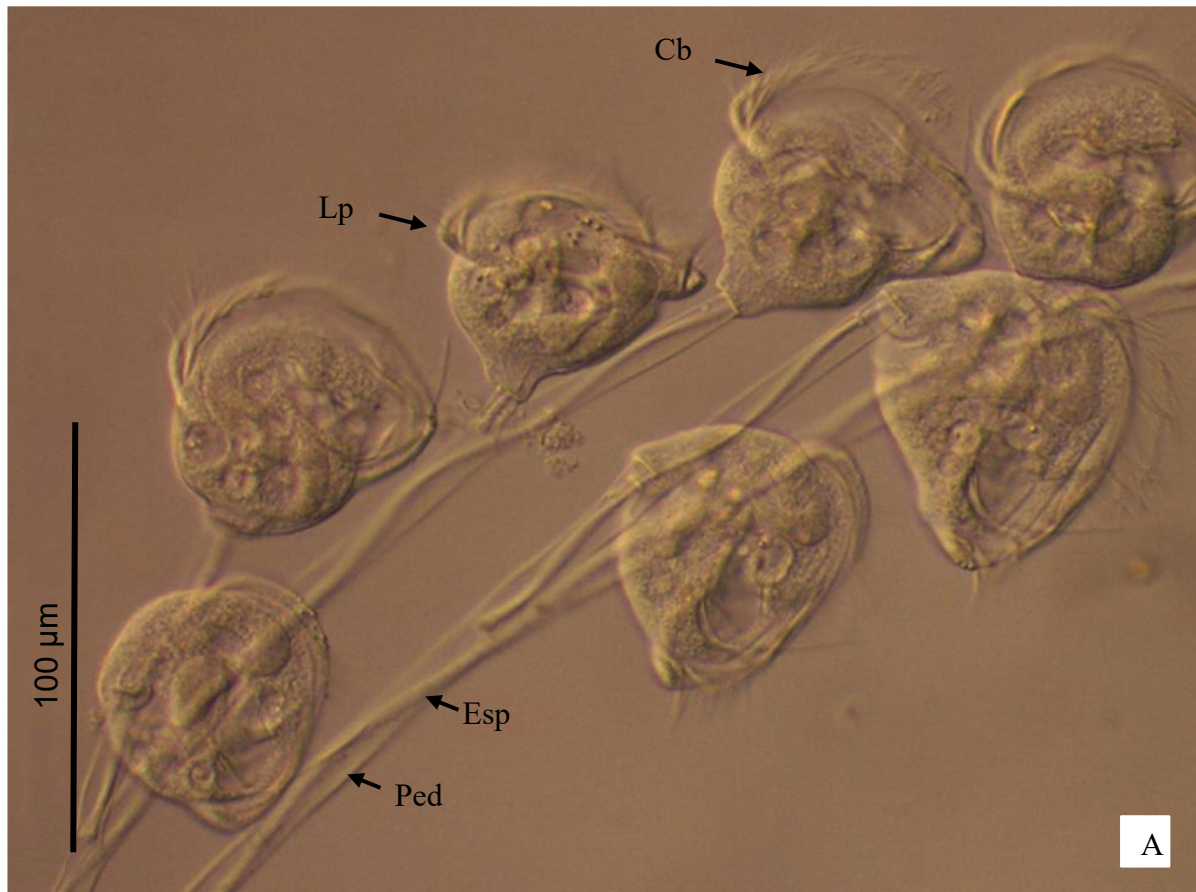
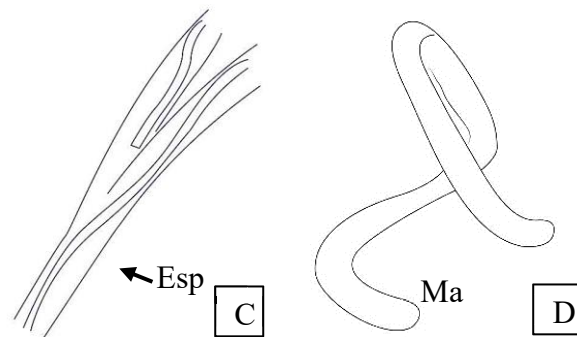


Figura 24. *Carchesium* sp. A Individuo en vivo, B Especimen en vivo, C Detalle del espasmonema, D Forma del macronúcleo. Abreviaturas: Ciliatura bucal (Cb), Espasmonema (Esp), Labio peristomal (Lp), Macronúcleo (Ma), Pedúnculo (Ped), Vacuola contráctil (Va).



Familia Microthoracidae Wrzesniowski, 1870
Microthorax pusillus Engelmann, 1862 (**Fig. 25**)

El margen izquierdo de las células es casi recto, mientras que el derecho es convexo, la célula está aplanada y comprimida lateralmente, en el extremo anterior izquierdo presenta una quilla. El tamaño de la célula es de 26-36 μm de longitud y 16-21 μm de ancho.

La membrana adoral tiene también dos filas de cinetosomas. Con siete cinetias somáticas, tres cinetias preorales y la cinetia x. El aparato nuclear está compuesto por un macronúcleo esférico y un micronúcleo esférico adyacente al macronúcleo.

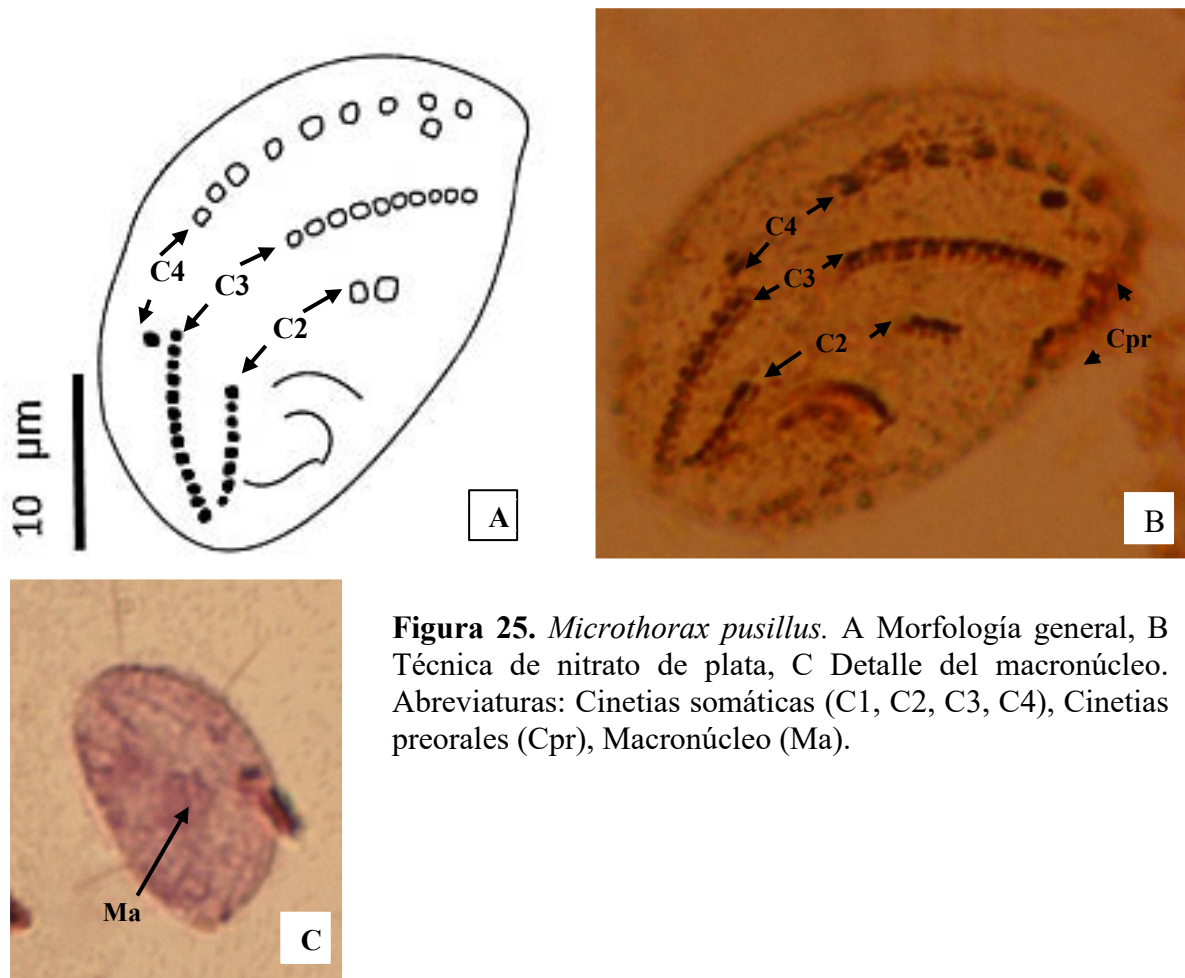


Figura 25. *Microthorax pusillus*. A Morfología general, B Técnica de nitrato de plata, C Detalle del macronúcleo. Abreviaturas: Cinetias somáticas (C1, C2, C3, C4), Cinetias preorales (Cpr), Macronúcleo (Ma).

Tabla 1 Morfometría de las especies registradas.

<i>Especies</i>	Longitud				Ancho			
	Mín	\bar{X}	Máx	s	Mín	\bar{X}	Máx	s
<i>Aspidisca</i> sp.	24	27	28.8	2	18	22	28.6	3.4
<i>Blepharisma sinuosum</i>	118	148.8	202	35.5	23.6	33	35.4	5.3
<i>Carchesium</i> sp.	-	-	-	-	49	65.8	112	19.9
<i>Cinetochilum margaritaceum</i>	16.5	18.2	19.8	2.3	12.1	12.7	13.2	0.8
<i>Coleps hirtus</i>	35	42.3	42.3	7	11	17.7	24	6.5
<i>Cyclidium</i> sp.	10.7	11.1	11.1	0.3	5.1	5.4	5.7	0.3
<i>Euplotoides eurytomus</i>	106	113.5	129	8.6	58.6	65.6	84	10.8
<i>Euplotoides octocarinatus</i>	70	76.9	87	6.5	59	51.9	66	8.6
<i>Glaucoma scintillans</i>	28	39.5	58	8.6	18.2	23	31	3.7
<i>Microthorax pusillus</i>	26	31	36	7.1	16.9	19.3	21.6	3.3
<i>Oxytricha</i> sp.	56	85	114	23.7	24.8	42.9	42.9	-
<i>Paramecium aurelia</i>	94	123.9	123.9	19	28.6	38.6	38.6	8.2
<i>Spirostomum</i> sp.	171	332.6	586.3	95.2	28	55.2	100.1	20.8
<i>Stentor coeruleus</i>	483	921.5	2974.1	833.9	-	-	-	-
<i>Stentor</i> sp.	394	447.7	511	15	72	87.0	102	15.0
<i>Urocentrum turbo</i>	57.2	64.4	71.5	10.1	42.9	42.9	42.9	0
<i>Uronema</i> sp.	21	27.2	31.5	3.1	10.5	16.5	21	3.2
<i>Vorticella campanula</i>	56	71	85.5	14.8	87	95.7	100	7.5

Mín: Valor mínimo, Máx: Valor máximo, \bar{X} : promedio, s: desviación estándar. Todas las medidas están dadas en μm .

7.2 Temporada de lluvias

7.2.1 Análisis de agrupamiento

En el primer muestreo realizado durante la temporada de lluvias se registraron 16 especies y solo *Uronema* sp. y *Oxytricha* sp. fueron exclusivas de esta temporada. El sitio que contó con la mayor riqueza fue el sitio Cruce con ocho registros, mientras que en el sitio Cima-6 no se observó ningún organismo (Tabla 2).

Vorticella campanula se observó en cuatro sitios y *C. margaritaceum*, *E. eurystomus*, *E. octocarinatus*, *S. coeruleus*, *U. turbo* y *Uronema* sp. solo se encontraron en un sitio durante la temporada de lluvias.

Los análisis de cluster mostraron que en la primera temporada se formaron cuatro agrupaciones (Fig. 26). El sitio Cima 6 (con cero registros) se observa en el dendograma como un brazo externo. El sitio Cima 1 (cluster 1) tuvo una similitud de 28.5% con el clúster formado por los agrupamientos 2 y 3, con el cual compartió una especie y fue el único sitio donde se observó a *C. margaritaceum* en la temporada de lluvias.

Un segundo grupo quedó constituido por los sitios Término-4 y Cruce-3 (similitud de 57.14%) que compartieron las especies *Cyclidium* sp., *V. campanula*, *P. aurelia* y *C. hirtus* y fueron los únicos sitios durante la temporada de lluvias donde se registró a estas dos últimas especies. Esta agrupación contó con 10 especies y estuvo conformada en su mayoría por organismos indicadores de α - β mesosaprobiedad, incluyendo a *E. eurystomus* y *M. pusillus* que se relacionan específicamente con la α mesosaprobiedad (Foissner & Berger, 1996) y a *E. octocarinatus* que no se ha catalogado como indicadora de algún estado de saprobiedad. La alimentación de las especies en la agrupación es variable pues incluye especies omnívoras, bacterívoras y algunas que se alimentan de algas (Foissner *et al.*, 1992, 1994, 1995; Foissner & Berger, 1996)

Tabla 2. Composición de especies por sitio en ambas temporadas.

Especies	Temporada de lluvias						Temporada seca					
	Ci-1	Tr-2	Cr- 3	Ter-4	Tr-5	Ci-6	Ci-1"	Tr-2"	Cr- 3"	Ter-4"	Tr-5"	Ci-6"
<i>Aspidisca</i> sp.	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X
<i>Blepharisma sinuosum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
<i>Carchesium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Cinetochilum margaritaceum</i>	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
<i>Coleps hirtus</i>	-	-	X	X	-	-	-	X	-	-	-	X
<i>Cyclidium</i> sp.	X	-	X	X	-	-	X	-	-	-	X	X
<i>Euplotoides eurystomus</i>	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X	X	-
<i>Euplotoides octocarinatus</i>	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	X
<i>Glaucoma scintillans</i>	-	X	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-
<i>Microthorax pusillus</i>	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	X
<i>Oxytricha</i> sp.	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paramecium aurelia</i>	-	-	X	X	-	-	-	X	-	-	X	X
<i>Spirostomum</i> sp.	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Stentor coeruleus</i>	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Stentor</i> sp.	X	X	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-
<i>Urocentrum turbo</i>	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Uronema</i> sp.	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vorticella campanula</i>	-	X	X	X	X	-	-	X	X	-	-	X
Total de especies	4	7	8	6	5	0	1	9	4	1	8	9
Total por temporada	16						16					

Puntos Cima (Ci-1,6), Puntos Trayecto (Tr-2,5), Punto Cruce (Cr-3), Punto Término (Ter-4).

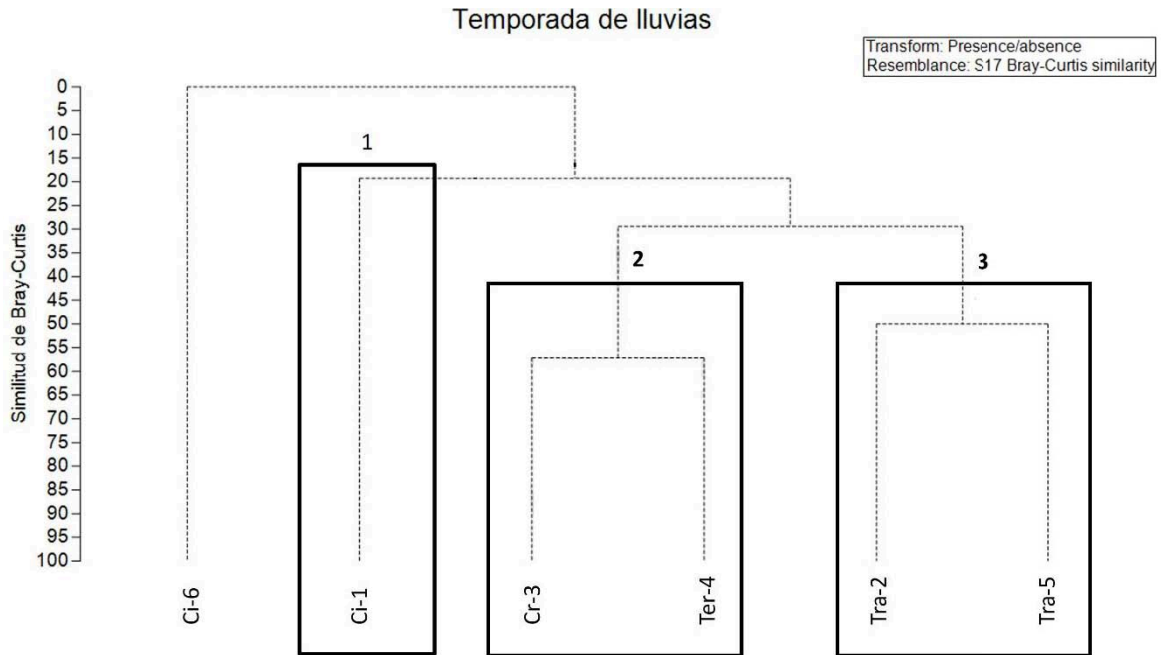


Figura 26. Dendrograma de similitud de especies por sitio para los registros de la temporada de lluvias. Puntos Cima (Ci-1,6), Puntos Trayecto (Tr-2,5), Punto Cruce (Cr-3), Punto Término (Ter-4).

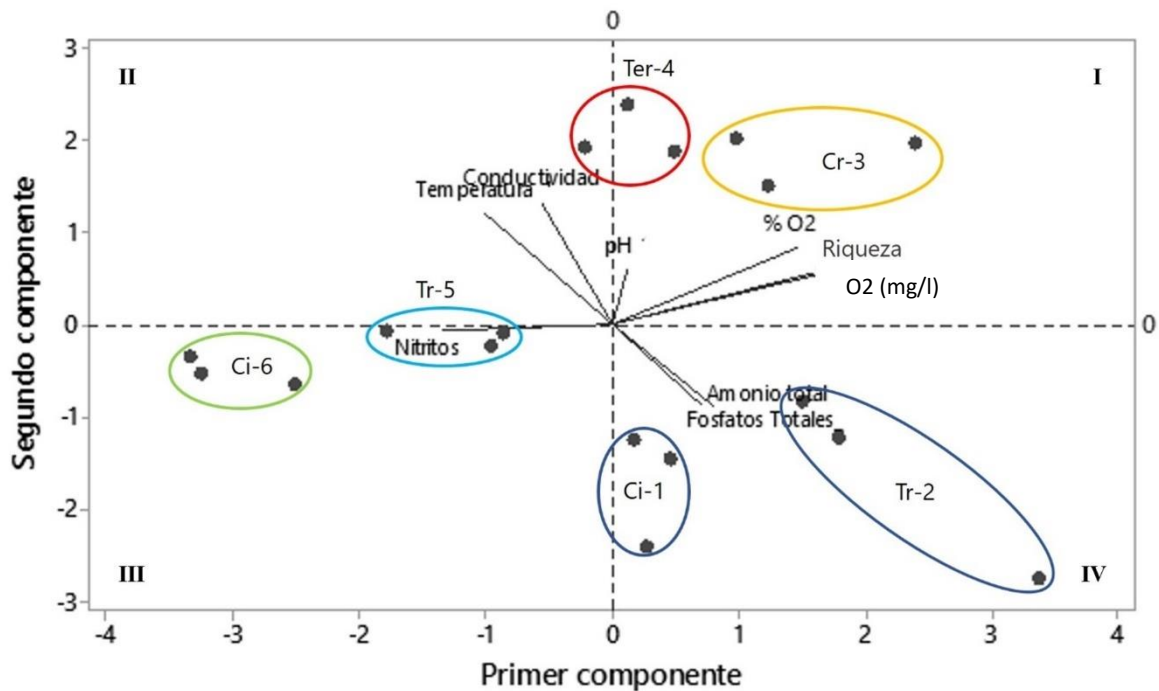


Figura 27. Biplot del ACP de la temporada de lluvias. Puntos Cima (Ci-1,6), Puntos Trayecto (Tr-2,5), Punto Cruce (Cr-3), Punto Término (Ter-4).

Los sitios Trayecto 2-5 tuvieron una similitud del 50% y contaron con nueve especies en conjunto, de las cuales compartieron a *Aspidisca* sp., *G. scintillans* y *V. campanula*; este sitio fue el único donde se registró a *S. coeruleus* durante la temporada de lluvias.

La agrupación incluyó especies con alimentación bacterívora, catalogadas entre la α y poli mesosaprobiedad (Foissner & Berger, 1996), aunque en el sitio Trayecto 2 se registró a *M. pusillus* que es indicadora específica de α -mesosaprobiedad (Foissner *et al.*, 1992, 1994, 1995). Todas las asociaciones formadas durante esta temporada tuvieron una asociación interna significativa según la prueba SIMPROF.

7.2.2 Análisis de componentes principales

Los datos fisicoquímicos registrados en cada sitio se muestran en la Tabla 5. El Análisis de Componentes Principales (Fig. 27) de la temporada de lluvias explicó en los primeros dos componentes el 66.7% de la varianza. El primer componente explicó el 38.7% de la varianza y las cargas de contribución de las variables fueron las siguientes: concentración de oxígeno disuelto (0.489), riqueza específica (0.464), porcentaje de saturación de oxígeno (0.429), nitritos (-0.389), temperatura (-0.294), amonio total (0.232), fosfatos totales (0.206), conductividad (-0.162) y pH (0.036), de tal modo que en este componente tuvieron mayor peso, la concentración de oxígeno disuelto, el porcentaje de saturación de oxígeno y la concentración de nitritos.

El segundo componente explicó el 28.5% de la varianza, las cargas de contribución de cada parámetro fueron: conductividad (0.528), temperatura (0.472), fosfatos totales (-0.343), amonio total (-0.335), concentración de oxígeno disuelto (0.330), pH (0.243), porcentaje de saturación de oxígeno (0.224), riqueza específica (0.223) y nitritos (-0.023). Este componente fue representado principalmente por la conductividad, temperatura, los fosfatos totales y el amonio total.

Se obtuvo una correlación positiva entre la concentración de fosfatos totales y amonio total, entre la concentración de oxígeno disuelto y la riqueza específica,

así como entre la temperatura y la conductividad. Los sitios Cima 1, Trayecto 2, Cruce 3 y Término 4, se agruparon en los cuadrantes I y IV, los cuales se relacionaron positivamente en el primer componente con la concentración de oxígeno disuelto (concentraciones mayores a 4.16 mg/L) y la riqueza específica (entre los cuatro comprendieron el 93% de las especies encontradas en la temporada); el sitio cruce 3 tuvo la mayor concentración de oxígeno disuelto y el mayor número de especies registradas durante la temporada de lluvias (Tabla 2).

Se obtuvo una correlación negativa en el primer componente entre las concentraciones de nitrito y la riqueza específica, aunque se observó que Trayecto-5 que fue el punto que contó con la mayor concentración de nitrito de la temporada, no tuvo la menor riqueza específica y el Cima 6, que contó con la menor riqueza específica no tuvo las concentraciones de nitrito más altas.

7.3 Temporada seca

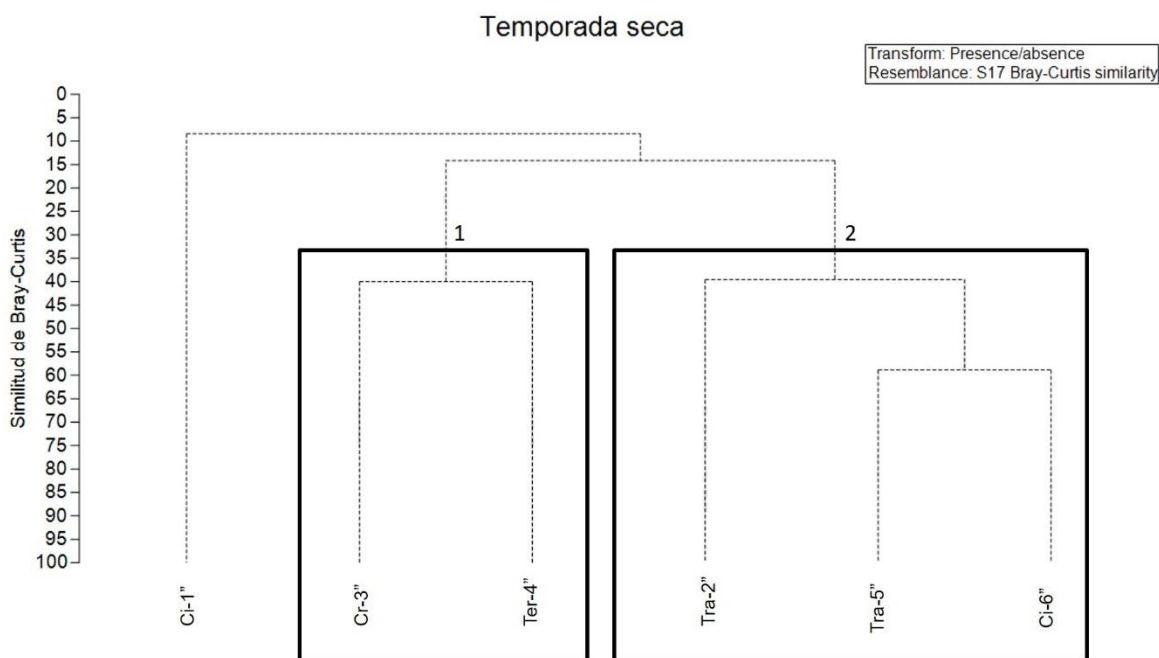


Figura 28. Dendrograma de similitud de especies por sitio para los registros de la segunda temporada seca. Puntos Cima (Ci-1,6), Puntos Trayecto (Tr-2,5), Punto Cruce (Cr-3), Punto Término (Ter-4).

7.3.1 Análisis de agrupamiento

En la segunda temporada (secas) se encontraron 16 especies, siendo exclusivas para esta: *Blepharisma sinuosum* y *Carchesium* sp. En esta temporada todos los sitios tuvieron al menos un registro. Los sitios Trayecto 2 y Cima 6 presentaron la mayor riqueza específica de esta temporada con nueve registros cada uno, a estos les sigue el sitio Trayecto 5 con ocho especies, mientras que los sitios Cima 1 y Término 4 solo contaron con un registro.

Cima 1" (con una sola especie) tuvo una similitud muy baja con los otros sitios (Fig. 28) y el resto de los sitios formaron dos grupos. En el clúster 2, los sitios Trayecto 5" y Cima 6" en conjunto contaron con 13 especies que comprendieron el 81% de la riqueza específica total de la temporada y tuvieron una similitud de 58.9%, estos compartieron cinco especies, que fueron *Aspidisca* sp, *B. sinuosum*, *C. margaritaceum*, *Cyclidium* sp., y *P. aurelia*. De acuerdo con Foissner & Berger (1996) corresponden al estado de α - β mesosaprobiedad y son bacterívoras.

De igual manera el clúster 2 presentó la riqueza específica más alta de ambas temporadas con nueve especies en Trayecto-2", ocho en Trayecto-5" y nueve en Cima-6" (nueve registros fue el máximo de especies encontradas en un solo sitio).

Los sitios Cima 3" y Término 4" fueron similares en un 40%, con una riqueza específica de cuatro especies en conjunto y solo se encontró a *E. eurystomus* en ambos, especie indicadora de α mesosaprobiedad con una alimentación omnívora (Foissner *et al.*, 1992, 1994, 1995). Entre las especies registradas están *S. coeruleus* y *V. campanula* que se relacionan a la α - β mesosaprobiedad (Foissner & Berger, 1996). Para esta temporada todas las agrupaciones formadas tuvieron un patrón de asociación significativo según la prueba SIMPROF (Fig. 28).

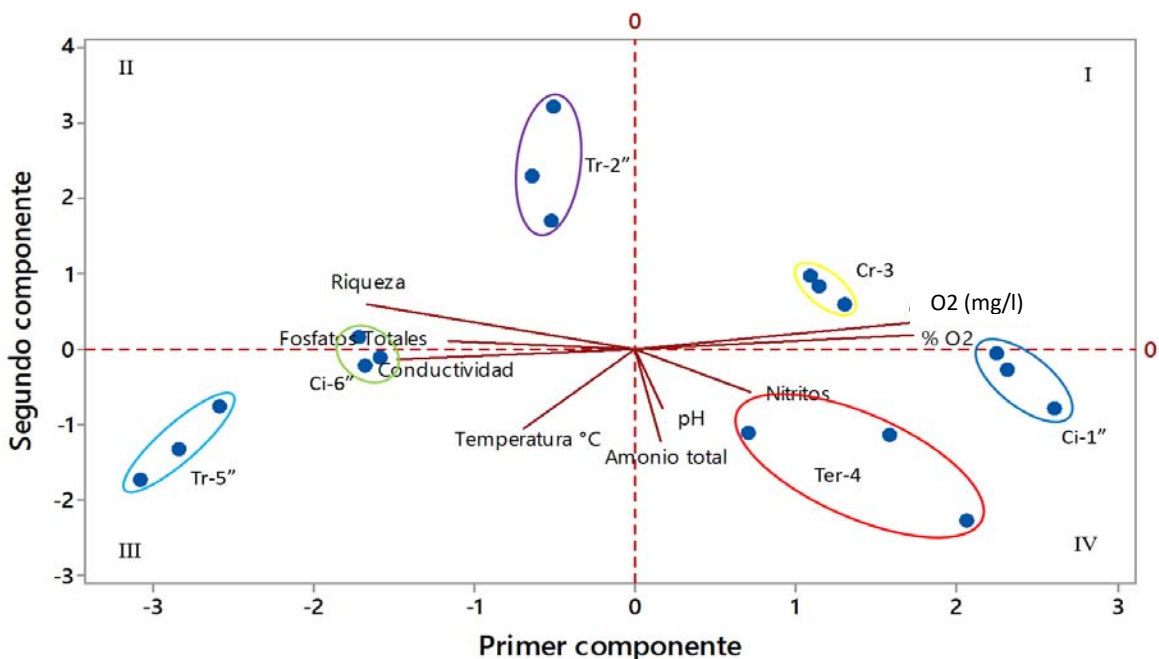


Figura 29. Biplot del ACP de la temporada seca. Puntos Cima (Ci-1",6"), Puntos Trayecto (Tr-2",5"), Punto Cruce (Cr-3"), Punto Término (Ter-4").

7.3.2 Análisis de componentes principales

Para la segunda temporada el ACP logró explicar el 63% de la varianza en sus dos primeros componentes (Fig. 29). El primer componente explicó el 40.5% de la varianza y las cargas de contribución de cada variable para el primer componente fueron las siguientes: oxígeno disuelto (0.475), porcentaje de saturación de oxígeno (0.472), riqueza específica (-0.456), conductividad (-0.403), fosfatos totales (-0.318), nitritos (0.198), amonio total (0.047) y pH (0.044), por lo que en este componente tuvieron mayor peso la concentración de oxígeno disuelto, el porcentaje de saturación del mismo, la riqueza específica y la conductividad.

El segundo componente explicó el 22.5% de la varianza, las cargas de cada variable fueron: pH (-0.603), temperatura (-0.521), amonio total (0.386), riqueza específica (0.299), nitritos (0.198), concentración de oxígeno disuelto (0.179), fosfatos totales (0.056), porcentaje de saturación de oxígeno (0.096) y conductividad (-0.061). Este componente estuvo representado principalmente por el pH, la temperatura y la concentración de amonio total.

Se obtuvo una correlación negativa entre la concentración de oxígeno disuelto y la riqueza específica, ya que los sitios Cruce 3", Cima 1" y Término 4" (con

las mayores concentraciones de oxígeno y menor riqueza específica de la temporada), se ubicaron en los cuadrantes I y IV, donde existió una relación positiva con el oxígeno disuelto en el primer componente, pero negativa con la riqueza específica. Hay que resaltar que las concentraciones de oxígeno disuelto registradas en esta temporada fueron mayores a 4 mg/L con excepción del sitio Trayecto 5" donde se obtuvo 1.35 mg/L.

En la Fig. 22 y Tabla 2 se muestra que los sitios con mayor riqueza específica de esta temporada (Trayecto 5", Trayecto 2" y Cima 6") se ubicaron en los cuadrantes II y III, zona con una correlación positiva en el primer componente con la concentración de fosfatos totales, por lo que se infiere que las concentraciones altas de este parámetro favorecieron el desarrollo de los ciliados.

7.4 Comparación de temporadas

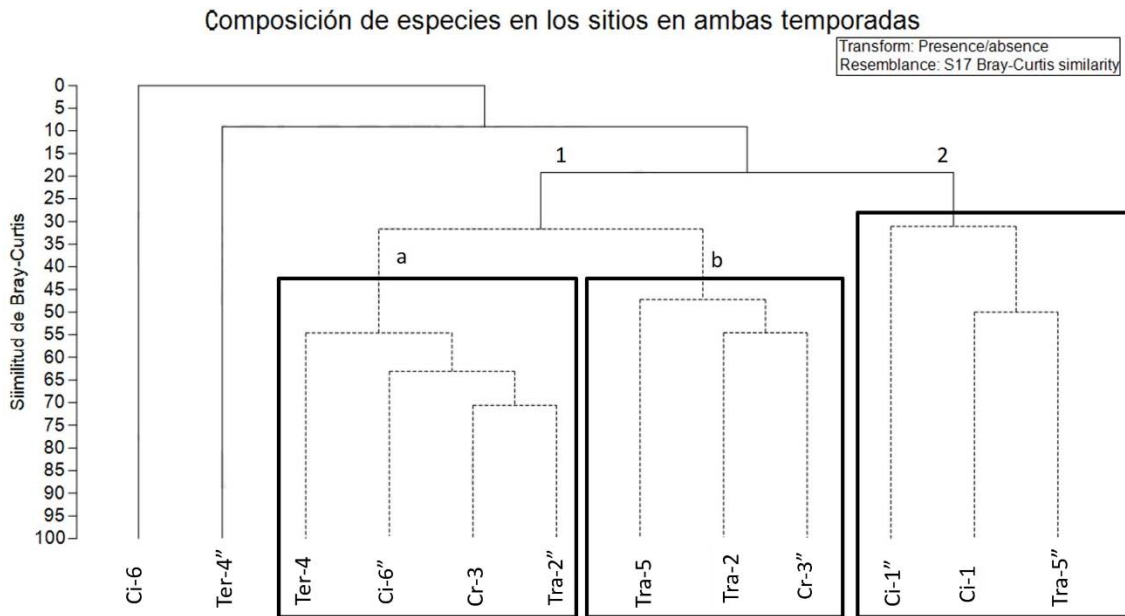


Figura 30. Similitud entre la composición de especies de los sitios en ambas temporadas. “: Sitios en el segundo muestreo. Puntos Cima (C-1”,6”), Puntos Trayecto (Tr-2”,5”), Punto Cruce (Cr-3”), Punto Término (Ter-4”).

7.4.1 Análisis de agrupamiento

De acuerdo al índice de Bray-Curtis, la similitud de la riqueza específica entre ambas temporadas fue de 86.66%, por lo cual el volumen de la precipitación pluvial no tuvo un efecto muy grande en cuanto al cambio de la composición de especies. Todas las especies registradas en cada sitio de acuerdo a las temporadas de lluvias y secas se muestran en la tabla 2.

Vorticella campanula fue la especie con más amplia distribución en las dos temporadas, ya que se encontró en siete sitios, seguida de *Cyclidium* sp. que fue observada en seis sitios.

Uronema sp. y *Carchesium* sp. fueron registradas solamente una vez, ambas en Trayecto-5, la primera de ellas durante lluvias y la segunda durante la temporada seca. La mayoría de las especies fueron registradas en un mayor número de sitios para la segunda temporada, excepto *V. campanula* que se encontró en menos sitios durante el segundo muestreo.

El número de especies registradas aumentó para la segunda temporada en los sitios Trayecto 2,5 y Cima-6, mientras que en los sitios restantes el número de especies registradas fue menor comparado con la primera temporada.

El análisis combinado de todos los sitios en ambas temporadas se muestra en la Figura 30. Los sitios que denotaron una baja o nula similitud fueron Término 4" (en secas) y Cima 6 (en lluvias) que no se asociaron con algún otro sitio.

En este análisis se formaron dos clusters. El cluster 1 presentó dos subagrupaciones. El primer subgrupo "a" estuvo formado por los sitios Cruce 3, Trayecto 2", Cima 6 y Término 4, donde se registraron organismos en su mayoría asociados con la α - β mesosaprobiedad, e incluyó la especie *M. pusillus* que es indicadora de α mesosaprobiedad (Foissner & Berger, 1996).

Los sitios Cruce 3 y Trayecto 2" (con once especies registradas en conjunto), mostraron la mayor similitud (70.5%). El conjunto "b" (Trayecto 5, 2", Cruce 3" y Trayecto 2") incluyó especies indicadoras de α - β mesosaprobiedad, con excepción de *E. eurytomus* que es indicadora de α mesosaprobiedad (Foissner & Berger, 1996).

El cluster 2, incluyó a los sitios Cima 1-1" y Trayecto 5" los cuales compartieron a *Cyclidium* sp., y especies indicadoras de α - β mesosaprobiedad (Foissner & Berger, 1996), con una similitud de 50%. En el sitio Término 4" solo se registró *E. eurystomus*.

7.4.2 Datos fisicoquímicos

Los ACP de ambas temporadas mostraron que el oxígeno fue la variable que más afectó la presencia de las especies de ciliados. En la Figura 31 se muestra que la mayoría de los sitios con más de cuatro registros de especies (la riqueza específica más alta en un sitio fue nueve especies) tuvieron concentraciones de oxígeno ≥ 4 mg/L.

Algunos de los parámetros fisicoquímicos registrados fueron similares entre ambas temporadas (como la concentración de oxígeno, la conductividad específica y porcentaje de saturación de oxígeno) por lo que no se encontraron diferencias significativas con la prueba de Kruskal-Wallis. El pH, la temperatura y las concentraciones de nitrito durante la temporada de secas fueron menores a las registradas en la temporada de lluvias, mientras que las concentraciones de fosfatos totales y amonio fueron mayores durante la temporada seca, un ejemplo claro de esto fue el sitio Cima 1 donde se midió una concentración de amonio 10 veces mayor durante la temporada seca (Fig. 32). Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis de la comparación de los datos fisicoquímicos entre ambas temporadas se muestran en la Tabla 3, se encontraron diferencias significativas en los parámetros de temperatura, concentraciones de fosfatos totales y amonio total.

Tabla 3. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis de datos fisicoquímicos

Parámetro	pH	Temperatura °C	% O ₂	O ₂ (mg/L)	Fosfatos Totales PO ₄ (mg/L)	Amonio total NH ₄ (mg/L)	Nitritos NO ₂ (mg/L)
Valor de p	0.107	0.001	0.438	0.862	0.00	0.00	0.125
Diferencias significativas	No	Si	No	No	Si	Si	No

Las especies *G. scintillans*, *P. aurelia*, *S. coeruleus*, *U. turbo* y *V. campanula* registradas en este trabajo han sido asociadas con la α - β mesosaprobiedad (Foissner & Berger, 1996), que por definición son sistemas que presentan condiciones de contaminación de fuerte a severa (Luna-Pabello, 2006). Según la propuesta de Jian & Shen (2005), la comunidad de ciliados tiene un estatus de contaminación (CPV) de 4.78 que la cataloga agua moderadamente contaminada. Este valor es un promedio de los valores de contaminación de especie (SPV: Tabla 4). Según esta propuesta *C. margaritaceum* se asocia con agua ligeramente contaminada, *C. hirtus*, *G. scintillans* y *M. pusillus* con agua no contaminada, *E. eurytomus* y *P. aurelia* con agua severamente contaminada, *S. coeruleus* con agua moderadamente contaminada y *U. turbo* con agua fuertemente contaminada.

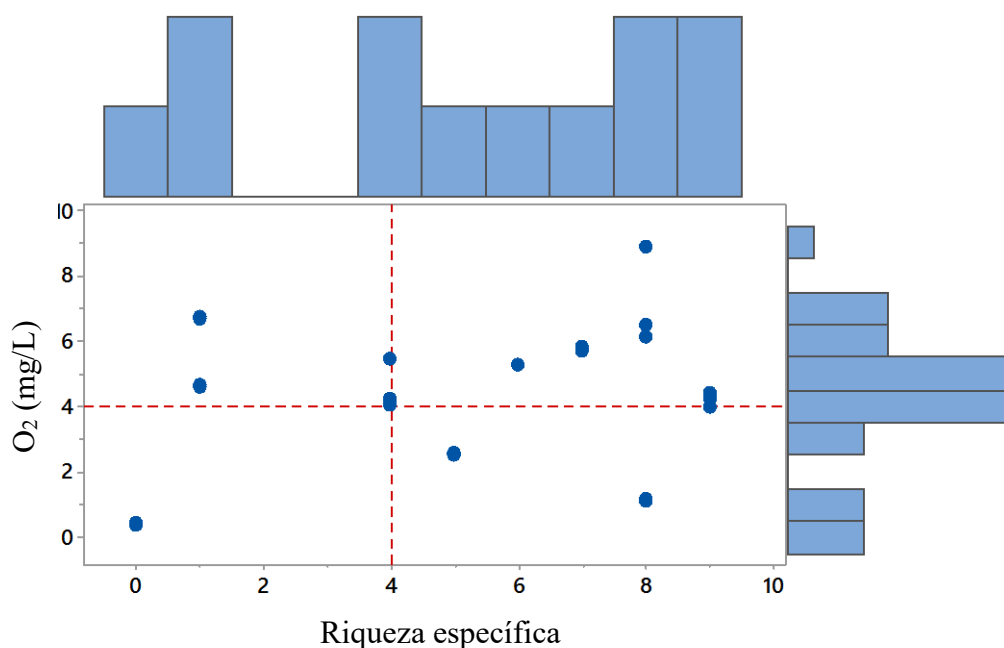


Figura 31. Relación de la riqueza específica con la concentración de oxígeno disuelto.

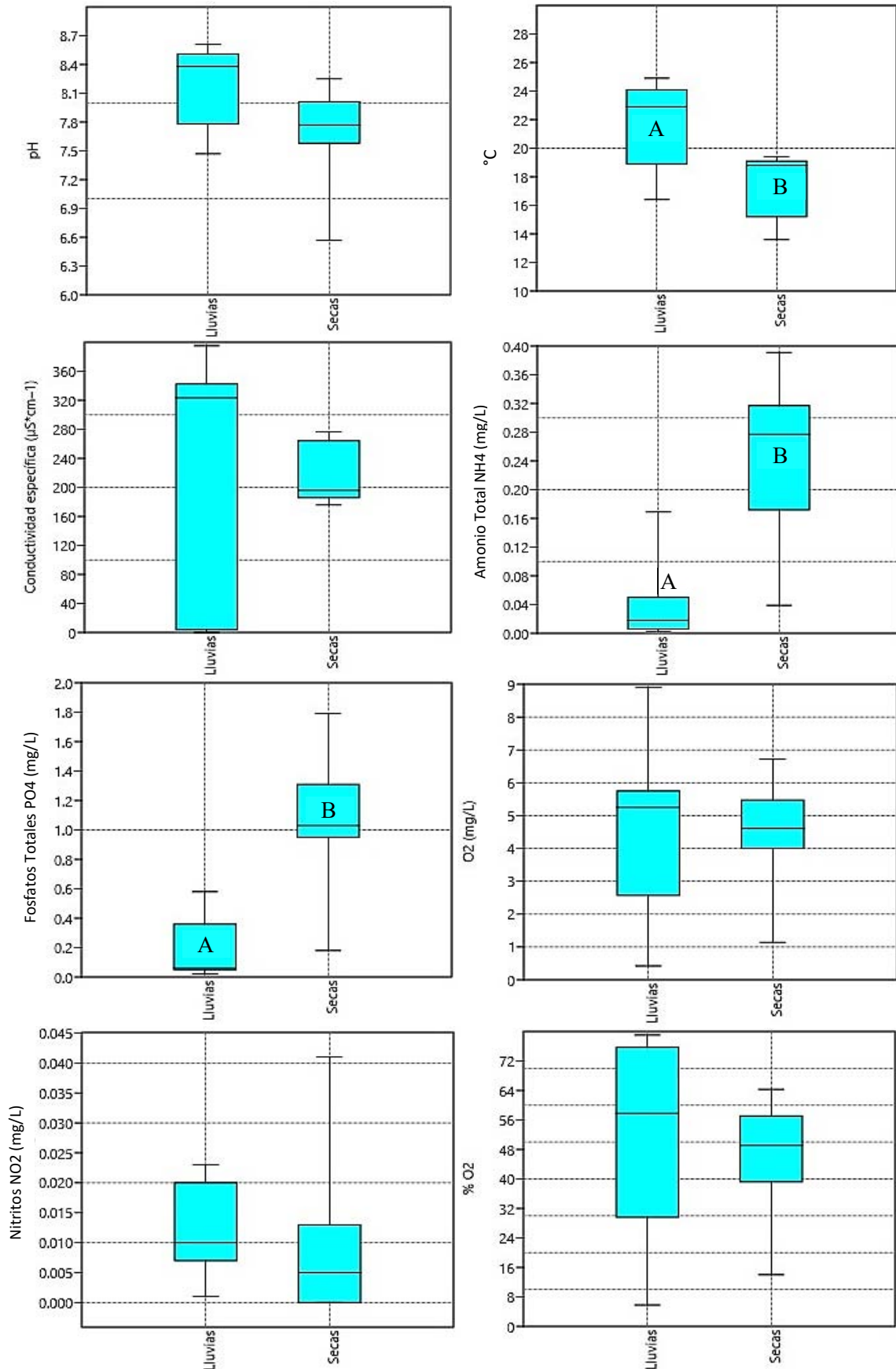


Figura 32. Comparación de los parámetros fisicoquímicos en ambas temporadas. A, B: Parámetros con diferencias significativas ($P < 0.05$; Kruskal wallis) 53

Tabla 4. Composición de especies por temporada y su tipo de alimentación. Se muestran los índices de calidad del agua.

Especies	Temporada de lluvias	Temporada seca	Alimentación (Foissner & Berger, 1996)	Saprobiedad (Foissner & Berger, 1996)	Species pollution value (SPV) (Jian & Shen, 2005)
<i>Aspidisca</i> sp.	x	x	-	-	-
<i>Blepharisma sinuosum</i>	-	x	-	-	-
<i>Carchesium</i> sp.	-	x	-	-	-
<i>Cinetochilum margaritaceum</i>	x	x	Bacterias y algas	Eurisaprobio	4.64
<i>Coleps hirtus</i>	x	x	Omnívoro	α - β mesosaprobio.	4.53
<i>Cyclidium</i> sp.	x	x	-	-	-
<i>Euplotoides eurytomus</i>	x	x	Omnívoro	α mesosaprobio	5.52
<i>Euplotoides octocarinatus</i>	x	x	-	-	-
<i>Glaucoma scintillans</i>	x	x	Bacterias	α - p mesosaprobiedad	4.6
<i>Microthorax pusillus</i>	x	x	Bacterias	α mesosaprobio	4.56
<i>Oxytricha</i> sp.	x	-	-	-	-
<i>Paramecium aurelia</i>	x	x	Bacterias	α - β mesosaprobio	5.88
<i>Spirostomum</i> sp.	x	x	-	-	-
<i>Stentor coeruleus</i>	x	x	Omnívoro	α - β mesosaprobio	4.76
<i>Stentor</i> sp.	x	x	-	-	-
<i>Urocentrum turbo</i>	x	x	Bacterias y diatomeas	α - β mesosaprobio	4.85
<i>Uronema</i> sp.	x	x	-	-	-
<i>Vorticella campanula</i>	x	x	Bacterias y algas	α - β mesosaprobio	3.68

CPV (*Comunity Pollution Value*) Estatus de contaminación de la comunidad

<4.61: Agua no contaminada o limpia, generalmente apta para el consumo humano después de tratamiento

4.61–4.75: agua ligeramente contaminada

4.75–4.84: agua moderadamente contaminada

4.84–4.90: agua fuertemente contaminada

>4.90: agua severamente contaminada

Tabla 5. Características fisicoquímicas de los sitios en ambas temporadas

Parámetro	Temporada de lluvias											
	Cima 1		Trayecto 2		Cruce 3		Termino 4		Trayecto 5		Cima 6	
	s	\bar{X}	s	\bar{X}	s	\bar{X}	s	\bar{X}	s	\bar{X}	s	\bar{X}
pH	0.09	7.58	0.07	7.83	0.06	8.44	0.0153	8.52	0.34	6.34	0.06	8.56*
Temperatura °C	0.15	18.87	0.06	16.47	0.06	22.97	0.058	24.83*	0.32	21.63	0	24.1
Conductividad específica ($\mu S \cdot cm^{-1}$)	0	0	0.81	3.97	0.17	323.4	0.2	394.9*	11.64	348.97	0.66	218.3
Conductividad equivalente	0	0	0	141	0.79	337.4	0.403	394.07*	0.1	362.1	0.058	222.37
% O ₂	1.55	44.27	0.80	58.63	1.45	75.73	0.7	78.3*	2.95	28.1	0.35	6.17
O ₂ (mg/L)	0	4.16	0.06	5.74	1.50	7.18*	0.006	5.26	0.02	2.56	0.021	0.44
Fosfatos totales PO ₄ (mg/L)	0	0.58*	0	0.36	0	0.06	0	0.05	0	0.05	0	0.02
Amonio total NH ₄ (mg/L)	0.02	0.04	0.08	0.08*	0.01	0.01	0.009	0.009	0.01	0.01	0.03	0.03
Nitritos NO ₂ (mg/L)	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.02*	0.004	0.018

Tabla 5. Continuación...

Parámetro	Temporada seca											
	Cima 1''		Trayecto 2''		Cruce 3''		Termino 4''		Trayecto 5''		Cima 6''	
	s	\bar{X}	s	\bar{X}	s	\bar{X}	s	\bar{X}	s	\bar{X}	s	\bar{X}
pH	0.08	8.09*	0.03	6.60	0.0252	7.58	0.0361	7.81	0.15	8.08	0.05	7.68
Temperatura °C	0.06	15.23	0.62	14.30	0.23	17.13	0.0577	19.33*	0.058	18.9	0.173	19
Conductividad específica ($\mu S \cdot cm^{-1}$)	0.06	185.83	0.12	222.27	0.0577	179.73	0.1	195.8	58.1	242.9	0.058	264.36*
Conductividad equivalente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% O ₂	0.31	63.97*	0.76	39.03	0.50	57.03	1.68	50.93	0.907	14.8	0.7	43.2
O ₂ (mg/L)	0.03	6.69*	0.07	4.33	0.0153	5.47	0.0252	4.63	0.025	1.16	0.01	4
Fosfatos totales PO ₄ (mg/L)	0.11	1.03	0.08	1.00	0.0778	0.975	0.48	0.61	0.421	1.35	0.007	1.4*
Amonio total NH ₄ (mg/L)	0.19	0.45*	0.17	0.23	0.1953	0.23	0.22	0.42	0.065	0.28	0.067	0.219
Nitritos NO ₂ (mg/L)	0.02	0.02	0.01	0.01	0.008	0.008	0.0878*	0.050	0.003	0.005	0.005	0.006

s: Desviación estándar, \bar{X} : promedio, *: sitio con el valor promedio más alto. "": Sitios en el segundo muestreo

VIII. Discusión

8.1 Taxonómica

Este trabajo representa el primer listado de ciliados para el parque Estatal Sierra de Tepetzotlán, Estado de México.

Para la determinación a nivel de especie la ausencia de revisiones recientes impidió la catalogación específica cómo fue en caso del género *Uronema*.

La determinación de algunas especies se realizó con base en caracteres muy particulares. Por ejemplo, *Paramecium aurelia* se distinguió de las otras especies del género por la posición de los micronúcleos. En el caso de *M. pusillus* donde las otras dos especies del género son de tamaño similar y también el número/arreglo de la ciliatura somática es similar, la identificación se realizó con base en el número de cuerpos basales en la cinetia número cuatro.

Algunas de las especies identificadas como *E. octocarinatus* no cuentan con redescrpciones actuales y además han sufrido recientemente cambios en su género, en este caso Borrór & Hill (1995), dividieron al género *Euplotes* en cuatro géneros, entre ellos incluyeron a *Euplotoides*, por lo que fue necesario cotejar que los caracteres diagnósticos coincidieran con la literatura anterior al cambio de género.

8.2 Saprobiedad

De acuerdo a Foissner & Berger (1996) cinco de las 18 especies registradas en este trabajo son indicadoras de α - β mesosaprobiedad (*C. hirtus*, *P. aurelia*, *S. coeruleus*, *U. turbo* y *V. campanula*). *Euplotoides eurystomus* es considerada como α saprobia, *C. margaritaceum* con un grado de tolerancia muy amplio o eurisaprobia y *G. scintillans* se ha catalogado como α -polisaprobia. Las especies restantes no han sido relacionadas con algún grado de saprobiedad.

Todas las especies identificadas están consideradas dentro de la categoría de limnosaprobiedad que son aguas poco, medianamente o muy contaminadas (Luna-Pabello, 2006), la mayoría son organismos tolerantes a condiciones entre la α - β mesosaprobiedad, lo que concuerda con el CPV obtenido que cataloga al sistema como “medianamente contaminado”.

Vorticella campanula, y *P. aurelia* contaron con varios registros en ambos muestreos, se observaron en sitios que de acuerdo al análisis de componentes principales y los datos de parámetros fisicoquímicos medidos tienen condiciones diferentes, indicando que estas especies tienen un intervalo de tolerancia amplio. De acuerdo a Foissner & Berger (1996) estas pueden encontrarse en aguas con estados entre la α y polisaprobiedad lo que implica que pueden encontrarse en varios niveles saprobios y no son tan buenas indicadoras (Zelinka & Marvan, 1961; García-Díaz, 2010).

Algunas de las especies registradas en este estudio no se han relacionado con algún estado de saprobiedad como es el caso de *Blepharisma sinuosum*. Esta especie ha sido registrada con anterioridad en un río dominado por ciliados polisaprobios, así como en la laguna Cabiúnas donde se encontraron ciliados indicadores de β -polisaprobiedad (ambos sistemas con concentraciones de oxígeno mayores a 4.2 mg/L (Paiva & Silva-Neto, 2004). En este estudio esta especie fue registrada solo en la segunda temporada en los puntos Trayecto-5" y Cima-6" con la concentración de fosfatos más alta de las dos temporadas y se agruparon por el UPGMA en un cluster donde la mayoría de las especies fueron catalogadas como indicadoras de α - β mesosaprobiedad según Foissner & Berger, 1996.

Otra especie registrada que no se ha relacionado con algún grado de saprobiedad es *E. octocarinatus*, observada en los sitios Cruce-3 y Trayecto 2" (agrupadas por el UPGMA con 70% de similitud, Fig. 30) en un cluster con mayoría de especies indicadoras de α - β mesosaprobiedad, aunque en el sitio Cruce-3 también se registró a *M. pusillus* que está asociada a la α - β mesosaprobiedad, esta especie fue registrada por Paiva & Silva-Neto (2004) en un río dominado por ciliados polisaprobios.

8.3 Físicoquímicos

Los ACP de ambas temporadas mostraron condiciones físicoquímicas distintas en algunos sitios (al ubicarlos en cuadrantes distintos) que posteriormente fueron agrupados en los análisis de cluster (como Trayecto 2 y 5 durante la primera temporada). Esto sugiere que las especies de estos sitios tienen un rango de tolerancia considerablemente amplio a varios de los parámetros medidos como el pH (que en tales puntos varió entre 6.34-7.83), la temperatura (16.47-21.63 °C), pero no a otros parámetros (como el oxígeno o el amonio).

A nivel global las concentraciones de fosfatos totales y amonio total fueron altas para la temporada seca, lo que sugiere que las fuentes de aporte de estos nutrientes tuvieron una variación anual. Una posible explicación para esto es que, algunos sitios (como Trayecto-2 y Cima 6; Fig. 7), están rodeados de vegetación (árboles, arbustos) cuya biomasa es propensa a caer dentro del cauce donde es degradada por bacterias que remineralizan tales compuestos.

La caída de materia vegetal en los cauces y su posterior degradación también explicaría el cambio de pH, ya que uno de los principales productos su descomposición es el CO₂, que al disolverse en el agua se transforma en ácido carbónico que posteriormente libera iones H⁺ causando una acidificación del medio (Jenkins & Suberkropp, 1995; Royer & Minshall, 2001).

Otra probable fuente de amonio y fosfatos al sistema es el excremento de los animales de pastoreo (Greaves *et al.*, 1999). Se sabe que la materia fecal del ganado contiene altas cantidades de estos compuestos (debido a esto se utilizan como fertilizantes en la agricultura) por lo que es posible que estos lleguen al sistema al ser lavados durante la precipitación y que se concentren durante la temporada seca. La concentración más alta de amonio medida en el sistema fue de 0.45 mg/L la cual está 0.05 mg/L por debajo del límite máximo permisible en aguas para uso humano según la NOM-127, norma que no menciona un intervalo permisible para la concentración de fosfatos.

La temperatura del agua en los cauces fue menor durante la temporada seca, probablemente consecuencia de la influencia directa de la temperatura ambiental

que en promedio para la zona fue menor durante el mes de noviembre en que se realizó el segundo muestreo (Fig. 5).

La concentración de oxígeno disuelto puede influir en la riqueza específica ya que se encontró que en los sitios donde las concentraciones fueron bajas, la riqueza específica también lo fue; por ejemplo, en la primera temporada los tres sitios con la mayor riqueza específica tuvieron las mayores concentraciones de oxígeno de esa temporada (Trayecto 2, siete especies, 5.74 mg/L O₂; Cruce 3, ocho especies, 7.18 mg/L) y en la segunda temporada el sitio Trayecto 2" con nueve especies y 4.93 mg/L. El sitio con menor concentración de oxígeno de ambas temporadas no tuvo ningún registro de especies (Sitio 6, 0.44 mg/L O₂).

La concentración de oxígeno en el agua por debajo de la cual no ofreció un hábitat adecuado para las especies de ciliados fue de 4 mg/L. Se obtuvo que la mayoría de los sitios con ≥ 4 registros de especies (el máximo de especies en un solo sitio fue 9) tuvieron concentraciones de ≥ 4 mg/L O₂ (Tabla 2 y 5; Fig. 31). Esto concuerda con los trabajos de Reck (1987), Detcheva (1978), Mihailowitsch (1989), Patrick *et al.* (1966), quienes reportaron a *U. turbo*, *P. aurelia*, *C. hirtus*, *G. scintillans*, *S. coeruleus*, *E. eurytomus* y *V. campanula* en sitios donde las concentraciones de oxígeno disuelto fueron mayores a 4.6 mg/L.

Sin embargo, algunas de las especies como *V. campanula* y *S. coeruleus*, también se han registrado a concentraciones de oxígeno menores a 4 mg/L, lo que explicaría porque estas pudieron observarse en algunos puntos como Trayecto 5 que registró 2.56 mg/L O₂ (Reck, 1987; Detcheva, 1978; Mihailowitsch, 1989; Şenler & Yildiz, 2004).

Finlay (1981) refirió que a concentraciones menores de 1 mg/L de oxígeno disuelto, las comunidades de ciliados son dominadas por especies de géneros como *Loxodes* o *Metopus* que se relacionan con ambientes microaerobios. Días *et al.* (2008) documentaron al intervalo de oxígeno disuelto entre 1.5-4.5 mg/L como el óptimo para la comunidad de ciliados que registraron en el río São Pedro al Sureste de Brasil, donde observaron las especies *E. eurytomus*, *S. coeruleus*, *U. turbo* y *B. sinuosum* (presentes en este estudio) pero en estaciones de muestreo con concentraciones de oxígeno disuelto menores a las registradas en este trabajo.

El amonio fue uno de los compuestos con un aumento en su concentración (a nivel global) durante la temporada seca. Este compuesto es tóxico para varias especies de ciliados, sin embargo, los intervalos de tolerancia a esta fracción de nitrógeno varían de acuerdo a la especie (Puigagut *et al.*, 2005). Las concentraciones más altas registradas en este estudio se encontraron en los sitios Cima 1" y Término 5" (0.45 mg/L y 0.42 mg/L) respectivamente, sitios que solo contaron con una especie, por lo que es probable que este compuesto sea causante de la baja riqueza específica. En el sitio Término 5" se registró a *E. eurytomus* especie para la cual se ha documentado un intervalo de tolerancia de hasta 1 mg/L de esta fracción de nitrógeno (Foissner *et al.*, 1991).

Dos de las especies registradas *Carchesium* sp. y *Coleps hirtus* pueden tolerar concentraciones de amonio mayores a 0.4 mg/l de amonio (Foissner *et al.*, 1991), sin embargo, este compuesto disminuye la abundancia de ciliados conforme aumenta su concentración (Klimek *et al.*, 2012). Para las especies *B. sinuosum* y *E. octocarinatus* la literatura que registra las concentraciones de NH₄ a las que han sido encontradas es escasa por lo cual sus intervalos de tolerancia no han sido establecidos.

Los ACP de ambas temporadas mostraron una correlación negativa (en su primer componente) entre la riqueza específica y la concentración de nitritos, sin embargo, en este trabajo este compuesto no excedió los 0.2 mg/L. Reck (1987), Mihailowitsch (1989) y Patrick *et al.* (1966) documentaron que la concentración de nitritos no afecta a la mayor parte de las especies de ciliados identificadas en este estudio, sin embargo, esta ha sido reportada como tóxica para otros ciliados como *Paramecium bursaria* (95% mortalidad a 80 mg/L), así como a varios taxa de animales acuáticos como el decápodo *Penaeus monodon* (90% de mortalidad a 120 mg/L) (Camargo *et al.*, 2005; Jiann-Chu & Shun-Chiang, 1990).

El ACP en ambas temporadas mostró una correlación positiva entre los fosfatos totales y la riqueza específica (en el primer componente), esto puede deberse al bacterio- y fito- plancton (no estimados), ya que estas comunidades tienen la capacidad de captar los fosfatos directamente del sistema para incrementar su biomasa (Xu *et al.*, 2010), de la cual se alimentan los ciliados, por lo

que el incremento en la disponibilidad de su alimento propiciaría una condición favorable para el aumento en la riqueza específica.

Esto coincide lo encontrado por Beaver & Crisman (1990) que registraron una correlación positiva entre la riqueza específica y picos en la concentración de fosfatos totales. Sánchez-Rodríguez *et al.* (2011), encontraron una riqueza específica baja durante la temporada de muestreo con la concentración de fosfatos más elevada (6.8 mg/L de P-PO₄), la cual fue casi cinco veces mayor que la concentración de fosfatos más alta registrada en este estudio (1.4 mg/L de P-PO₄) y registraron la riqueza específica más alta del lago Tezozómoc a una concentración de fosfatos cercana a 3.5 mg/L de P-PO₄

Considerando lo anterior, la concentración de fosfatos es un factor importante para la comunidad de ciliados debido a que los niveles de este nutriente determinan la disponibilidad de alimento (bacterias o algas). Un sistema acuático con concentraciones bajas de este nutriente no es favorable para los ciliados siendo esencial para el desarrollo de los organismos de los que se alimentan. Un sistema acuático con altas concentraciones de fosfatos genera condiciones más propicias para la presencia de otras comunidades como es el fitoplancton (Xu *et al.*, 2010; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2011), beneficiando a las especies de ciliados que se alimentan de algas, pero la riqueza específica será baja.

IX. CONCLUSIONES

Fueron registradas 18 especies, las cuales comprenden el primer listado taxonómico de ciliados para el parque estatal “Sierra de Tepetzotlán”.

Se contribuye con datos morfométricos para cada una de las especies registradas, así como datos citológicos de las especies *E. octocarinatus* y *C. margaritaceum*.

La comunidad de especies de ciliados registrada en este trabajo indica que los tres cauces estudiados presentaron condiciones de α - β mesosaprobiedad de acuerdo a la propuesta de Foissner & Berger (1996). Los organismos identificados catalogan al sistema como aguas moderadamente contaminadas de acuerdo con la propuesta de Jian & Shen (2005).

Algunas especies como *V. campanula*, *P. aurelia* y *Ciclydium sp.* mostraron un rango de tolerancia considerablemente amplio a varios de los parámetros como el pH (que varió entre 6.6-8.44) y la temperatura (16-22.97 °C) y son tolerantes a varios niveles saprobios.

Las concentraciones de fosfatos totales y amonio total fueron mayores para la temporada seca, lo que sugiere que las fuentes de aporte de estos nutrientes tienen una variación anual.

La concentración de oxígeno disuelto fue la variable que más afectó la presencia de los ciliados y la riqueza específica de cada sitio de muestreo ya que la mayoría de los sitios con concentraciones menores a 4 mg/L de O₂ tuvieron menos de cuatro registros de especies por lo que se propone que el agua en algunos sitios no ofreció un hábitat adecuado para las especies que conformaron la comunidad de ciliados de este sistema.

Las concentraciones de amonio pueden explicar la baja riqueza específica de ciliados en los dos puntos donde la concentración de oxígeno era adecuada para el desarrollo de los ciliados, pero se recomienda establecer los intervalos de tolerancia de cada especie, así como realizar estudios para conocer los mecanismos de toxicidad del amonio en los ciliados.

Los ACP de ambas temporadas mostraron una correlación negativa entre la riqueza específica y la concentración de nitrito, pero las concentraciones registradas en los cauces no fueron lo suficientemente altas como para afectar negativamente a la mayoría de las especies de ciliados encontradas en el estudio.

Se obtuvo una correlación positiva entre la concentración de fosfatos totales y la riqueza específica, atribuida a que los niveles de este compuesto determinan la cantidad de alimento disponible (algas o bacterias) para la comunidad de ciliados.

Blepharisma sinuosum y *Euplotoides octocarinatus* son especies que no se han relacionado aún con alguna categoría de saprobiedad, y son catalogadas en este trabajo como indicadores de α - β mesosaprobiedad ya que los tres cauces analizados durante el estudio se catalogaron dentro de esos niveles. Se recomienda realizar una revisión bibliográfica más extensa de las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua en donde se ha registrado a estas especies para asignarles una valencia saprobia o un valor de contaminación de especie.

Se reconoce la necesidad de incrementar la información de indicadores biológicos, ya que hacen falta datos que validen a los organismos (en este caso ciliados) como indicadores de las condiciones presentes en los sistemas acuáticos.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, S. & M. Greeley. 2000. Ecotoxicological indicators of water quality: using multi-response indicators to assess the health of aquatic ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 123(1-4): 103-115.

Aladro-Lubel, M. A. 2009. Manual de prácticas de laboratorio de protozoos. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 124 pp.

Beals, E. 1984. Bray-Curtis ordination: an effective strategy for analysis of multivariate ecological data. *Advances in Ecological Research*, 14: 1-55.

Beaver, J. R. & T. L. Crisman. 1990. Seasonality of planktonic ciliated protozoa in 20 subtropical Florida lakes of varying trophic state. *Hydrobiologia*, 190(2): 127-135.

Berger, H. 1999. Monograph of the *Oxytrichidae* (Ciliophora, Hypotrichia). Kluwer Academy Pub., Londres, Reino Unido. 1079 pp.

Bick, H. 1972. Ciliated protozoa. An Illustrated Guide to the Species Used as Biological Indicators in Freshwater Biology. World Health Organization. Genova. 198 pp.

Borror, A. C. & B. F. Hill. 1995. The order Euplotida (Ciliophora): taxonomy, with division of *Euplotes* into several genera. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 42(5): 457-466.

Cairns Jr, J. 1982. Freshwater protozoan communities. *Microbial Interactions and Communities*, 1: 249-285.

Camargo, J. A., A. Alonso & A. Salamanca. 2005. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58(9): 1255-1267.

Clarke, K. R., P. J. Somerfield & R. N. Gorley. 2008. Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366(1): 56-69.

Clesceri, L. S., A. E. Greenberg & A. D. Eaton. 1999. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, Washington, USA. 2671 pp.

Corgos, A., E. Godínez-Domínguez, J. R. Flores-Ortega & J. A. Rojo-Vázquez 2014. Comunidades de fondos blandos submareales de la bahía de Navidad (Jalisco, México): patrones espaciales y temporales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4): 1171-1183.

Detcheva, R. 1978. Übersicht über die Ciliatenfauna der bulgarischen Donauzuflüsse. *Arbeitstagung Internationale Arbeitsgemeinschaft Donauforschung der Societas Internationalis Limnologiae*, 21: 357-364.

Dias, R., A. Wieloch & M. D' Agosto. 2008. The influence of environmental characteristics on the distribution of ciliates (Protozoa, Ciliophora) in an urban stream of southeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 68(2): 287-295.

Evenson, R. E. & D. Gollin. 2003. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300 (5620): 758-762.

Fenchel, T. & C. Bernard. 1996. Behavioural responses in oxygen gradients of ciliates from microbial mats. *European Journal of Protistology*, 32(1): 55-63.

Finlay, B. J. 1980. Temporal and vertical distribution of ciliophoran communities in the benthos of a small eutrophic loch with particular reference to the redox profile. *Freshwater Biology*, 10: 15-34.

Finlay, B. J. 1981. Oxygen availability and seasonal migrations of ciliated protozoa in a freshwater lake. *Microbiology*, 123(1), 173-178.

Finlay, B. J. & G. F. Esteban. 1998. Freshwater protozoa: biodiversity and ecological function. *Biodiversity & Conservation*, 7(9): 1163-1186.

Fisher, B., R. Turner & P. Morling. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3): 643-653.

Foissner, W. 1992. Evaluation water quality using protozoa and saprobity index. In: Soldo, J.J. & Lee, A.T. (Eds), *Protocols in Protozoology*. Society of Protozoologists, Kansas, USA: 1432 pp.

Foissner, W. 2014. An update of "basic light and scanning electron microscopic methods for taxonomic studies of ciliated protozoa". *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(1): 271-292.

Foissner, W. & H. Berger. 1996. A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biology*, 35(2): 375-482.

Foissner, W., H. Blatterer, H. Berger & F. Kohmann. 1991. *Taxonomische und Ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems – Band I: Cyrtophorida, Oligotrichida, Hypotrichia, Colpodea*. Informationsberichte Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft. Österreich: 478 pp.

Foissner, W., H. Blatterer, H. Berger & F. Kohmann. 1992. *Taxonomische und Ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems – Band II: Peritrichia, Heterotrichida, Odontostomatida*. Informationsberichte Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft. Österreich: 502 pp.

Foissner, W., H. Berger & F. Kohmann. 1994. *Taxonomische und Ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems – Band III: Hymenostomata, Prostomatida, Nassulida*. Informationsberichte Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft. Österreich: 548 pp.

Foissner, W., H. Blatterer, H. Berger & F. Kohmann. 1995. *Taxonomische und Ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems – Band IV: Gymnostomatea, Loxodes, Suctorina*. Informationsberichte Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft. Österreich: 540 pp.

Foissner, W., A. Chao & L. A. Katz. 2008. Diversity and geographic distribution of ciliates (Protista: Ciliophora). *Biodiversity and Conservation*, 17(2), 345-363.

Friberg, N. 2014. Impacts and indicators of change in lotic ecosystems. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 1(6): 513-531.

García, E. 1978. Los climas del Valle de México según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por la autora. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. México. 63 pp.

García-Díaz, Y. 2010. Sistema de saprobios para la evaluación biológica de la calidad del agua. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 115 pp.

García-Santana, G. 2000. Calidad del agua y presencia de protozoarios ciliados en un filtro biológico aerobio. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 80 pp.

Gobierno del Estado de México (GEM). 2004. Programa de Manejo del Parque Estatal "Sierra de Tepetztlán". Periódico Oficial del Gobierno del Estado de México, 17 de febrero de 2004.

Gómez-Calero, J. 2010. Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. España. 314 pp.

Gómez-Gómez, M., C. Danglot-Banck & L. Vega-Franco. 2003. Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. Cuándo usarlas. *Revista Mexicana de Pediatría*, 2(70): 91-99.

Greaves, J., P. Hobbs, D. Chadwick, & P. Haygarth. 1999. Prospects for the recovery of phosphorus from animal manures: a review. *Environmental Technology*, 20(7), 697-708.

Gronau, I. & S. Moran. 2007. Optimal implementations of UPGMA and other common clustering algorithms. *Information Processing Letters*, 104(6): 205-210.

INEGI (2005). Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa. México, INEGI. 295 pp.

Jenkins, C. & K. Suberkropp. 1995. The influence of water chemistry on the enzymatic degradation of leaves in streams. *Freshwater Biology*, 33(2): 245-253.

Jian, J. & Y. Shen. 2005. Use of the aquatic protozoa to formulate a community biotic index for an urban water system. *Science of the Total Environment*, 346: 99–111.

Jiann-Chu, C. & L. Shun-Chiang. 1990. Toxicity of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* juveniles. *Journal of the World Aquaculture Society*, 21(4): 300-306.

Klimek, B., J. Fyda, A. Pajdak-Stós, W. Kocerba, E. Fiałkowska & M. Sobczyk. 2012. Toxicity of ammonia nitrogen to ciliated protozoa *Stentor coeruleus* and *Coleps hirtus* isolated from activated sludge of wastewater treatment plants. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 89(5) : 975-977.

Luna-Pabello, V. M. 1987. Estudio de los protozoarios presentes en un sistema de tratamiento por medio de biodiscos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 86 pp.

Luna-Pabello, V. M. 1990. Efecto de la temperatura en las poblaciones de protozoarios ciliados en un reactor de biodiscos. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 115 pp.

Luna-Pabello, V. M. 1993. Estudio comparativo de las poblaciones de protozoarios ciliados en un reactor de biodiscos alimentado con diferentes

substratos. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 152 pp.

Luna-Pabello, V. M. 2006. Atlas de ciliados y otros microorganismos frecuentes en sistemas de tratamiento aerobio de aguas residuales. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 111 pp.

Luna-Pabello, V., M. A. Aladro-Lubel & C. Durán de-Bazúa. 1994. Efecto del substrato sobre las poblaciones de ciliados en un reactor de biodiscos. Vol. 3, Serie Química Ambiental del Agua. PIQAYQA. Facultad de Química. UNAM. México. 110 pp.

Lynn, D. H. 2008. The Ciliated Protozoa: Characterization, classification and guide to the literature. Springer, New York, Estados Unidos de América. 605 pp.

Mayén-Estrada, R., M. Reyes-Santos & R. Aguilar-Aguilar. 2014. Biodiversity of Ciliophora in México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: 34–43.

Mihailowitsch, B. 1989. Taxonomische und ökologische Untersuchungen an Ciliaten (Protozoa: Ciliophora) in solebelasteten Fließgewässern. Doktorarbeit Dissertation an der Rheinischen Friedrich-Whilhelms-Universiat zu Bonn, Deutschland. 291 pp.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Millennium Ecosystem Assessment Findings*. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press. Washington, DC: 137 pp.

Noland, L. E. 1925. Factors influencing the distribution of freshwater ciliates. *Ecology*, 6(4): 437-452.

Nomdedeu, O.V. & E. López-Ochotorena. 1988. Protozoarios ciliados de México. XXXII. Estudio ecológico de algunas especies para estimar el grado de contaminación del Río Magdalena, México, D.F. *Anales Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México*, 15(1): 229-236.

Orlove, B. & S. C. Caton. 2010. Water sustainability: Anthropological approaches and prospects. *Annual Review of Anthropology*, 39: 401-415.

Padrón-Cruz, A. & P. Cantú-Martínez. 2009. El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables. *Cultura Científica y Tecnológica*, 6(3): 15-25.

Paiva, T. & I. D. Silva-Neto, 2004. Ciliate protists from Cabiúnas Lagoon (Restinga de Jurubatiba, Macaé, Rio de Janeiro) with emphasis on water quality

indicator species and description of *Oxytricha marcili* sp. n. *Brazilian Journal of Biology*, 64(3A): 465-478.

Pantle, R. & H. Buck. 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas-und Wasserfach*, 96(18): 96-604.

Patrick, R., J. Cairns & S. Roback. 1966. An ecosystematic study of the fauna and flora of the Savannah River. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 118: 109-407.

Poder Ejecutivo del Estado de México. 2004. Programa de manejo del parque estatal "Sierra de Tepetzotlán". Gaceta del Gobierno. Estado de México: México. 48 pp.

Poloni, J. A. T., E. Keitel, P. S. Ceccon, C. F. Voegeli, I. B. Bosan & G. Garigali. 2015. *Balantidium coli* in the Urinse Sediment. *Journal of Clinical Case Reports*, 5(4): 1.

Puigagut, J., H. Salvadó & J. García. 2005. Short-term harmful effects of ammonia nitrogen on activated sludge microfauna. *Water research*, 39(18): 4397-4404.

Reck, E. 1987. Zur ökologie der pelagischen ciliaten des Plußsees. Dissertation Christian-Albrechts-Universitat, Deutschland. 288 pp.

Romero-Barrera, A. & J. Morales-Vázquez. 2000. Inventario de la fauna silvestre en el Parque Estatal Sierra de Tepetzotlán, Estado de México. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 110 pp.

Royer, T. & G. Minshall. 2001. Effects of nutrient enrichment and leaf quality on the breakdown of leaves in a hardwater stream. *Freshwater Biology*, 46(5): 603-610.

Sánchez-Rodríguez, M. R., A. Lugo-Vázquez, M. G. Oliva-Martínez, A. Rodríguez-Rocha & L. Peralta-Soriano. 2011. Planktonic ciliates in a hypertrophic pond: Functional role and importance. *Journal of Environmental Biology*, 32(4): 497-503.

Saavedra, O. 2009. Caracterización de la estructura de la población y uso de hábitat del zorzal cola rufa (*Catharus guttatus*) y el chipe gorra rufa (*Basileuterus rufifrons*) en el parque estatal Sierra de Tepetzotlán, Estado de México. Tesis de

Maestría. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Posgraduados. México. 79 pp.

Şenler, N. & I. Yildiz. 2004. Faunistic and morphological studies on ciliates (Protozoa, Ciliophora) from a small pond, with responses of ciliate populations to changing environmental conditions. *Turkish Journal of Zoology*, 28(3) : 245-265.

Sládečková, A. & V. Sládeček. 1966. The indicator value of some sessile protozoans. *International Journal of Pest Management A*, 12(1-2): 88-88.

Smith, V., D. Tilman & J. Nekola. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*, 100(1): 179-196.

Tirjaková, E. & P. Vďačný. 2013. Analysis and evolution of water quality of the upper Váh River (northern Slovakia) by long-term changes in the community structure of ciliates (Protista: Ciliophora). *Biologia*, 68(4): 667-678.

Toledo-Trejo, E. 2007. Presencia y distribución de amibas y ciliados en el sistema de lodos activados de Ciudad Universitaria. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 75 pp.

Vánegas-Pérez, C., S. Zúñiga-Lagunes, G. Gaxiola-Cortez, C. Robles-Mendoza & M. Betancourt-Lozano. 2008. Ensayo de toxicidad aguda con camarones peneidos. En: Ramírez-Romero, P. & A. Mendoza-Cantú. (Coord.), Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo. La experiencia en México. SEMARNAT. México. 414 pp.

Xu, M., H. Cao, P. Xie, D. Deng, W. Feng & J. Xu. 2005. Use of PFU protozoan community structural and functional characteristics in assessment of water quality in a large, highly polluted freshwater lake in China. *Journal of Environmental Monitoring*, 7 : 670-674.

Xu, H., H. W. Paerl, B. Qin, G. Zhu & G. Gao. 2010. Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China. *Limnology and Oceanography*. 55: 420-432.

Zelinka M. & P. Marvan. 1961. Zur Praezisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fliessender Gewaesser. *Archiv für Hydrobiologie*, 57: 389-407.